



TUGAS AKHIR – RF141501

KAJIAN EKSPERIMENTAL PERMODELAN NUMERIK RESISTIVITAS-KOROSIVITAS

HAMZAH ABDULLAH MUBARAK
NRP. 3713 100 046

Dosen Pembimbing 1:
Anik Hilyah, S.Si, MT

Dosen Pembimbing 2:
Dr. Widya Utama, DEA

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN



TUGAS AKHIR – RF141501

KAJIAN EKSPERIMENTAL PERMODELAN NUMERIK RESISTIVITAS-KOROSIVITAS

HAMZAH ABDULLAH MUBARAK
NRP. 3713 100 046

Dosen Pembimbing 1:
Anik Hilyah, S.Si, MT

Dosen Pembimbing 2:
Dr.WidyaUtama, DEA

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN



UNDERGRADUATE THESIS – RF141501

EXPERIMENTAL STUDIES OF NUMERICAL MODELS OF RESISTIVITY-CORROSIVITY

HAMZAH ABDULLAH MUBARAK
NRP. 3713 100 046

1st Supervisor:
Anik Hilyah, S.Si, MT

2nd Supervisor:
Dr. Widya Utama, DEA

GEOPHYSICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil and Planning Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur saya panjatkan kepada Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya lah saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir saya yang berjudul *KAJIAN EKSPERIMENTAL PERMODELAN NUMERIK RESISTIVITAS-KOROSIVITAS* tepat waktu.

Selama saya menjalankan Tugas Akhir, tentunya banyak pihak yang memberikan bantuan dan dorongan baik dalam bentuk moril maupun materil kepada saya. Untuk itu saya mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu dan Bapak di rumah atas doa dan dukungan semangat yang tiada henti mengalir.
2. Pemerintah Republik Indonesia yang telah memberikan bantuan beasiswa melalui Kementerian Kebudayaan dan Pendidikan, Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi.
3. Bapak Dr. Widya Utama, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Geofisika ITS yang juga merupakan dosen pembimbing kedua saya.
4. Ibu Anik Hilyah, S.Si., M.T. selaku Sekretaris Departemen Teknik Geofisika ITS yang juga merupakan dosen pembimbing pertama saya.
5. Bapak Andie Sugiarto, S.Si selaku Senior Engineer di PT. IPMOMI Paiton atas ilmu dan bimbingannya.
6. Teman-teman *Tim Korosi*; Fadlillah Nur Raharjo, Masruro Amalia, Kiki Kartika Dewi; Rizal Taufiqurrohman, dan Yuri Syahwirawan. Terimakasih atas kerjasamanya selama mengerjakan tugas akhir bersama.
7. Teman-teman *Tim Crackers*; Andriyan Yulikasari, Mella Surya Asmara, Hasibatul Farida, dan Maulidah Aisyah.
8. Abrar Ridhollah, yang telah membantu menyiapkan spesimen penelitian. Semoga sukses menjadi calon B. J. Habibie baru dari ITS.
9. Teman-teman TG02, atas seluruh dukungan dan doanya.
10. Dan pihak-pihak lainnya yang tidak dapat saya sebutkan semuanya.
Semoga kebaikan rekan-rekan semua dibalas oleh Allah dengan kebaikan yang lebih baik lagi.

Di akhir kata, saya mohon maaf atas kesalahan yang terdapat pada tugas akhir ini. Dan harapan saya, tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua khususnya bagi Departemen Teknik Geofisika ITS dan disiplin ilmu lainnya yang saya singgung dalam tugas akhir ini

Surabaya, 10 Juli 2017

Hamzah Abdullah Mubarak

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

KAJIAN EKSPERIMENTAL PERMODELAN NUMERIK RESISTIVITAS-KOROSIVITAS

Nama Mahasiswa	: Hamzah Abdullah Mubarak
NRP	: 3713 100 046
Departemen	: Teknik Geofisika FTSP-ITS
Dosen Pembimbing	: 1. Anik Hilyah, MT 2. Dr. Widya Utama, DEA

Abstrak

Metode Resistivitas merupakan metode yang dapat memberikan informasi mengenai tahanan jenis sebuah media, salah satunya media seperti tanah. Tahanan jenis yang rendah pada tanah tersaturasi fluida dapat mengindikasikan kondisi lingkungan yang konduktif. Lingkungan yang konduktif berpotensi menciptakan korosi pada logam umumnya dan khususnya besi. Permodelan numerik resistivitas-korosivitas digunakan untuk mengkorelasikan parameter resistivitas dengan parameter korosivitas seperti laju korosi. Sehingga dari permodelan numerik tersebut dihasilkan persamaan numerik yang dapat mencitrakan laju korosi yang berpotensi terjadi dari hasil penampang resistivitas. Permodelan numerik resistivitas untuk menganalisis laju korosi ini dapat digunakan untuk melakukan kontroling pipa yang ditanam di bawah tanah. Pada tugas akhir ini dilakukan permodelan resistivitas terhadap laju korosi dari data uji labolatorium terhadap sampel besi AISI 1045 dengan memberikan variasi konsentrasi larutan NaCl terhadap media, dan variasi waktu pengukuran laju korosi. Hasil akhir dari penelitian ini berupa persamaan numerik yang merepresentasikan hubungan antara resistivitas terhadap laju korosi. Persamaan numerik tersebut adalah $CR = 0,1844\rho^{-0,187}$.

Kata kunci: Korosi, Korosivitas, Resistivitas.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

EXPERIMENTAL STUDIES OF NUMERICAL MODELS OF RESISTIVITY-CORROSIVITY

Student Name : Hamzah Abdullah Mubarak
NRP : 3713 100 046
Department : Teknik Geofisika FTSP-ITS
Supervisor : 1. Anik Hilyah, MT
2. Dr. Widya Utama, DEA

Abstract

Resistivity method can provide information about the type of resistance contained in the media, especially media such as soil. The low type resistance to the fluid-saturated soil may indicate a conductive environmental condition. Where conductive environments have the potential to create corrosion in common metals and especially iron. Corrosivity-resistivity numerical modeling is used to correlate between resistivity parameters and corrosivity parameters such a corrosion rate. From the numerical modeling is produced numerical equations that can imaging the corrosion rate that potentially occurs from the resistivity cross section. Numerical modeling of resistivity to analyze the corrosion rate can be used to control the underground pipe. In this undergraduae thesis, resistivity model was applied to corrosion rate from laboratory test data to AISI 1045 iron sample by giving variation of NaCl solution concentration to media, and variation of time measurement of corrosion rate. The final result is a numerical equation which represents the relationship between resistivity to corrosion rate. The numerical equation is $CR = 0,1844\rho^{-0,187}$.

Keywords: Corrosion, Corrosivity, Resistivity.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

KAJIAN EKSPERIMENTAL PERMODELAN NUMERIK RESISTIVITAS-KOROSIVITAS TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk memenuhi gelar Sarjana
Teknik pada Departemen Teknik Geofisika
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, 10 Juli 2017

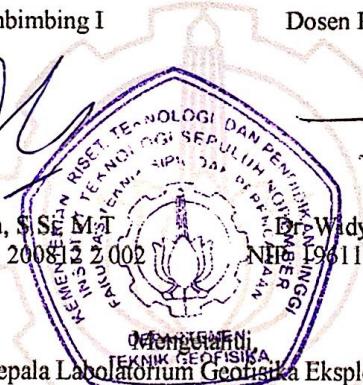
Menyetujui

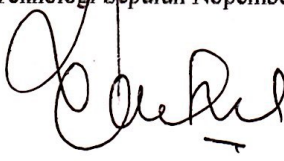
Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Anik Hilyah, S. SE MT
NIP. 19790813 200813 2 002

Dr. Widyia Utama, DEA
NIP. 19611024 198803 1 001


Mengetahui
Kepala Laboratorium Geofisika Eksplorasi
Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya


Dr. Ayi Syaeful Bahri, MT
NIP. 19690906 1997802 1 001

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Kajian Eksperimental Permodelan Numerik Resistivitas-Korosivitas**” adalah benar **hasil** karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 10 Juli 2017

Hamzah Abdullah Mubarak
NRP 3713100046

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
Abstrak	iii
Abstract.....	v
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR DIAGRAM & GRAFIK	xix
LAMPIRAN	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Metode Geolistrik	3
2.1.1 Metode Resistivitas.....	3
2.1.2 Metode Resistivitas Induced Polarization (IP).....	5
2.2 Resistivitas Lapangan	5
2.3 Water (fluid) Content	7
2.4 Porositas Absolut	8
2.5 Salinitas Air Laut	8
2.6 Korosivitas Tanah berdasarkan Resistivitas.....	8
2.7 Teori Korosi.....	9
2.8 Uniform Corrosion (Korosi General).....	10
2.9 Laju Korosi	11
2.10 Besi Karbon AISI 1045.....	12
BAB 3 METODOLOGI	13

3.1 Peralatan dan Bahan	13
3.1.1 Peralatan	13
3.1.2 Bahan.....	13
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	13
3.3 Desain Alat Pengukuran	14
3.3.1 Desain Alat Pengukuran Resistivitas.....	15
3.3.2 Desain Alat Pengukuran Laju Korosi	15
3.4 Alur Pengerjaan Penelitian	15
3.5 Langkah Kerja	16
3.5.1 Pengkondisian Tanah.....	16
3.5.2 Pengukuran Resistivitas.....	17
3.5.3 Pengukuran Laju Korosi.....	17
BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Analisis Data Hasil Pengukuran	21
4.1.1 Informasi Fisis Media.....	21
4.1.2 Pengukuran Resistivitas.....	21
4.1.3 Pengukuran Laju Korosi.....	21
4.2 Perhitungan.....	22
4.2.1 Water (fluid) Content	22
4.2.2 Porositas	22
4.2.3 Resistivitas.....	22
4.2.3.1 Metode Resistivitas.....	22
4.2.3.2 Metode Induced Polarization (IP).....	24
4.2.4 Laju Korosi.....	26
4.3 Analisis Data dan Pembahasan	28
4.3.1 Pembuatan Media Rekondisi	28
4.3.2 Alat Pengukuran Resistivitas.....	29
4.3.3 Resistivitas.....	30
4.3.3.1 Metode Resistivitas.....	30
4.3.3.2 Metode Induced Polarization	31

4.3.4	Laju Korosi	33
4.3.5	Hubungan Resistivitas dengan Laju Korosi	34
4.3.5.1	Resistivitas terhadap Laju Korosi	34
4.3.5.2	Chargeability terhadap Laju Korosi	37
4.4	Analisis Persamaan	40
4.5	Perbandingan dengan Shwerdtfeger 1964.....	40
4.6	Aplikasi Persamaan untuk Penentuan Zona Korosi	42
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		46
5.1	Kesimpulan	46
5.2	Saran	46
DAFTAR PUSTAKA		48
BIOGRAFI PENULIS		50
LAMPIRAN		52

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 (A) Definisi dasar dari arus I yang melalui suatu blok resistivitas dengan panjang L dan beda potensial V di antara dua luas permukaan A . (B) rangkaian listrik yang sebanding, di mana R bertindak sebagai resistor (ASTM G-187, 2005).....	4
Gambar 2.2 Desain akuisisi data resistivitas lapangan PT. IPMOMI (Taufiqurrohman, 2017)	6
Gambar 2.3 Penampang resistivitas lapangan PT. IPMOMI (Taufiqurrohman, 2017).....	7
Gambar 2.4 Ilustrasi proses korosi (Dalimunthe, 2004)	10
Gambar 3.1 Rangkaian alat ukur resistivitas. Plat tembaga diletakkan pada kedua ujung pipa, diameter pipa yaitu 2.54 cm dengan panjang pipa 10 cm. amperemeter dirangkai seri dengan daya dan voltmeter dirangkai paralel dengan daya.....	15
Gambar 3.2 Alat ukur laju korosi. Dimensi pipa alat ukur laju korosi dibuat sama dengan dimensi pipa pengukuran resistivitas, spesimen besi diletakkan di tengah-tengah pipa, kemudian pipa ditutup dengan menggunakan tutup pipa. .	15
Gambar 4.1 Proses pengukuran resistivitas, ketika pengukuran dilakukan, lempeng tembaga diletakkan pada kedua ujung pipa, kemudian kedua tembaga dihubungkan ke voltmeter dan dihubungkan ke aki (sumber potensial) yang telah dirangkai seri dengan amperemeter.	30
Gambar 4.2 Penampang resistivitas tanah daerah terintrusi air laut (Taufiqurrohman, 2017)	43
Gambar 4.3 Penampang resistivitas setelah dirubah dengan menggunakan skala Schwerdtfeger (Taufiqurrohman, 2017)	44
Gambar 4.4 Penampang korosivitas lapangan PT. IPMOMI.....	45
Dokumentasi 1 Pengambilan pasir di pantai Siring Kemuning Bangkalan, Madura.....	56
Dokumentasi 2 Mesh pasir A ukuran butir 0,1 mm dan B ukuran butir 0,3 mm	56
Dokumentasi 3 Pembuatan wadah pengukuran resistivitas dan laju korosi.....	56
Dokumentasi 4 Pembuatan alat pengukuran resistivitas	57
Dokumentasi 5 Pengukurant berat dengan menggunakan timbangan digital, A berat pasir kering, B berat fluida 20 ml, C berat pasir yang telah ditambahkan fluida.....	57
Dokumentasi 6 Pengukuran berat NaCl, A konsentrasi 0,035 M, B konsentrasi 0,07 M, C konsentrasi 0,1 M, D konsentrasi 0,2 M, E konsentrasi 0,3 M	58
Dokumentasi 7 Pengukuran Resistivitas dengan alat yang telah dibuat	58
Dokumentasi 8 Melembabkan pasir dengan larutan NaCl.....	59
Dokumentasi 9 Memasukkan spesimen besi di dalam pasir	59
Dokumentasi 10 Isolasi spesimen besi dalam pipa + pasir dan pemberian kode tiap spesimen	59

Dokumentasi 11 Pembersihan besi dari karat setelah dilakukan pengkaratan ..	59
Dokumentasi 12 Berat besi sebelum dimasukkan ke dalam pasir + larutan NaCl konsentrasi 0,035 M	60
Dokumentasi 13 Berat besi setelah dimasukkan ke dalam pasir + larutan NaCl konsentrasi 0,035 M	61
Dokumentasi 14 Berat besi sebelum dimasukkan ke dalam pasir + larutan NaCl konsentrasi 0,07 M	62
Dokumentasi 15 Berat besi setelah dimasukkan ke dalam pasir + larutan NaCl konsentrasi 0,07 M	63
Dokumentasi 16 Berat besi sebelum dimasukkan ke dalam pasir + larutan NaCl konsentrasi 0,1 M	64
Dokumentasi 17 Berat besi setelah dimasukkan ke dalam pasir + larutan NaCl konsentrasi 0,1 M	65
Dokumentasi 18 Berat besi sebelum dimasukkan ke dalam pasir + larutan NaCl konsentrasi 0,2 M	66
Dokumentasi 19 Berat besi setelah dimasukkan ke dalam pasir + larutan NaCl konsentrasi 0,2 M	67
Dokumentasi 20 Berat besi sebelum dimasukkan ke dalam pasir + larutan NaCl konsentrasi 0,3 M	68
Dokumentasi 21 Berat besi setelah dimasukkan ke dalam pasir + larutan NaCl konsentrasi 0,3 M	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Lintasan desain akuisisi data lapangan PT. IPMOMI (Taufiqurrohman, 2017)	6
Tabel 2.2 Resistivitas tanah dan tingkat peluang terjadinya korosi (LIPI, 1987)	8
Tabel 2.3 Hubungan nilai resistivitas tanah dengan nilai laju korosi dengan (Schwerdtfeger, 1964)	8
Tabel 2.4 Variasi konstanta laju korosi	11
Tabel 2.5 Variasi konstanta metal loss	11
Tabel 2.6 Komposisi kimia besi karbon AISI 1045	12
Tabel 2.7 Karakteristik fisis dan mekanik besi karbon AISI 1045	12
Tabel 3.1 Alat-alat untuk keperluan penelitian	13
Tabel 3.2 Bahan-bahan untuk keperluan penelitian	13
Tabel 3.3 Rincian waktu dan tempat penelitian	14
Tabel 4.1 Informasi Fisis Media	21
Tabel 4.12 Data perhitungan resistivitas pasir + larutan NaCl 0,035 M	23
Tabel 4.13 Data perhitungan resistivitas pasir + larutan NaCl 0,07 M	23
Tabel 4.14 Data perhitungan resistivitas pasir + larutan NaCl 0,1 M	23
Tabel 4.15 Data perhitungan resistivitas pasir + larutan NaCl 0,2 M	24
Tabel 4.16 Data perhitungan resistivitas pasir + larutan NaCl 0,3 M	24
Tabel 4.17 Data perhitungan chargeability pasir + larutan NaCl 0,035 M	25
Tabel 4.18 Data perhitungan chargeability pasir + larutan NaCl 0,07 M	25
Tabel 4.19 Data perhitungan chargeability pasir + larutan NaCl 0,1 M	25
Tabel 4.20 Data perhitungan chargeability pasir + larutan NaCl 0,2 M	26
Tabel 4.21 Data perhitungan chargeability pasir + larutan NaCl 0,3 M	26
Tabel 4.22 Hasil perhitungan laju korosi pasir + larutan NaCl 0,035 M	27
Tabel 4.23 Hasil perhitungan laju korosi pasir + larutan NaCl 0,07 M	27
Tabel 4.24 Hasil perhitungan laju korosi pasir + larutan NaCl 0,1 M	27
Tabel 4.25 Hasil perhitungan laju korosi pasir + larutan NaCl 0,2 M	28
Tabel 4.26 Hasil perhitungan laju korosi pasir + larutan NaCl 0,3 M	28
Tabel 4.27 Perbandingan data resistivitas terhadap laju korosi	34
Tabel 4.28 Perbandingan data chargeability terhadap laju korosi	37
Tabel 4.29 Hubungan resistivitas-korosivitas (Schwerdtfeger, 1964)	40
Tabel 4.30 Hubungan resistivitas-korosivitas hasil penelitian	41

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR DIAGRAM & GRAFIK

Diagram 3.1 Alur Penelitian Tugas Akhir	16
Diagram 3.2 Alur pengkondisian media	17
Diagram 3.3 Alur pengukuran resistivitas dan laju korosi.....	19
Grafik 4.1 Kompilasi data resistivitas hasil pengukuran. Sumbu y merupakan laju korosi dan sumbu x merupakan konsentrasi.	31
Grafik 4.2 Kompilasi data chargeability. Sumbu y merupakan nilai chargeability dalam milisekon dan sumbu x merupakan konsentrasi dalam molaritas.	32
Grafik 4.3 Kompilasi data laju korosi. Sumbu x merupakan waktu pengukuran weight loss dan sumbu y merupakan laju korosi yang terjadi. Data yang diberikan tanda lingkaran merupakan data yang error.	33
Grafik 4.4 Hubungan resistivitas dengan laju korosi tiap konsentrasi. Sumbu c merupakan resistivitas dan sumbu y merupakan laju korosi.....	36
Grafik 4.5 Hubungan resistivitas dengan laju korosi. Garis arah persebaran data nilai laju korosi terlihat menurun terhadap nilai resistivitas.	36
Grafik 4.6 Hubungan chargeability dengan laju korosi tiap konsentrasi. Sumbu x merupakan chargeability dan sumbu y merupakan laju korosi. Data hubungan laju korosi terhadap chargeability tidak menunjukkan keteraturan pada masing-masing konsentrasi larutan.....	39
Grafik 4.7 Perbandingan hasil penelitian dengan Schwerdtfeger pada tahun 1964	42

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

LAMPIRAN

I. Datasheet Pengukuran Resistivitas Pasir + Larutan NaCl 0,035M.....	52
II. Datasheet Pengukuran Resistivitas Pasir + Larutan NaCl 0,07M	52
III. Datasheet Pengukuran Resistivitas Pasir + Larutan NaCl 0,1M.....	52
IV. Datasheet Pengukuran Resistivitas Pasir + Larutan NaCl 0,2M.....	53
V. Datasheet Pengukuran Resistivitas Pasir + Larutan NaCl 0,3M	53
VI. Datasheet Pengukuran Laju Korosi pada Pasir + Larutan NaCl 0,035M	53
VII Datasheet Pengukuran Laju Korosi pada Pasir + Larutan NaCl 0,07M	54
VIII. Datasheet Pengukuran Laju Korosi pada Pasir + Larutan NaCl 0,1M.....	54
IX. Datasheet Pengukuran Laju Korosi pada Pasir + Larutan NaCl 0,2M	54
X. Datasheet Pengukuran Laju Korosi pada Pasir + Larutan NaCl 0,3M.....	55
XI. Rincian Dana	55
XV Dokumentasi Kegiatan.....	56

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Korosi kini merupakan suatu kendala yang merugikan dunia industri, khususnya pada perusahaan yang memanfaatkan pipa berbahan logam. Setidaknya korosi logam di seluruh dunia telah menimbulkan kerugian sebesar 2.2 triliun USD (AGA, 2017). Penanganan korosi sejak dini terhadap logam dinilai mampu mengurangi kerugian tersebut sebesar 25-30%. Korosi merupakan proses degradasi logam yang diakibatkan oleh senyawa kimia atau reaksi elektrokimia logam dengan lingkungan (H. H. Uhlig).

Pada implementasinya, biasanya logam dimanfaatkan untuk dijadikan pipa karena kekuatannya. Ketika pipa dikubur di dalam tanah, pipa berbahan logam biasanya lebih kuat dibandingkan dengan pipa PVC. Namun ada konsekuensi yang perlu diperhatikan, hal tersebut yaitu pipa akan terisolasi di bawah tanah. Pipa logam yang terisolasi di bawah tanah tentunya akan berinteraksi dengan lingkungan sekitar yang dapat menyebabkan terjadinya korosi, sehingga jika dibiarkan dalam jangka waktu yang lama akan merusak logam itu sendiri (Romanoff). Korosivitas tanah dapat didefinisikan sebagai kemampuan tanah untuk merusak logam terhadap permukaan logam yang diukur melalui laju korosi (W. J. Schwerdtfeger, 1964). Laju korosi pada permukaan pipa logam yang berada di dalam tanah tentunya tidak seragam. Untuk memantau lingkungan pipa di bawah tanah tersebut guna menganalisis korosi yang terjadi, perlu dilakukan pemantauan terhadap lingkungan pipa di bawah tanah. Salah satu parameter lingkungan bawah tanah adalah resistivitas tanah. Dengan mengetahui hubungan resistivitas tanah dengan laju korosi, tentunya bisa dilakukan pemantauan lingkungan tanpa harus menggali tanah terlebih dahulu.

Karena itu perlu dirumuskan hubungan antara resistivitas tanah dengan laju korosi yang menyebabkan terjadinya korosi pada logam. Pada kegiatan Tugas Akhir yang penulis laksanakan ini, dapat diketahui hubungan antara parameter resistivitas tanah dengan korosivitas logam melalui persamaan numerik. Persamaan numerik hasil penelitian ini dapat digunakan untuk mengkonversi nilai resistivitas menjadi nilai korosivitas dan mampu memberikan interpretasi kuantitatif penampang lingkungan korosif.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh hubungan konsentrasi larutan garam (NaCl) terhadap *chargeability* pasir?

2. Bagaimana rumus hubungan antara resistivitas dengan korosivitas?

1.3 Tujuan

Tujuan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh hubungan konsentrasi larutan garam (NaCl) terhadap *chargeability* pasir.
2. Merumuskan persamaan hubungan antara resistivitas dengan korosivitas.

1.4 Batasan Masalah

Batasan-batasan yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Sampel tanah yang digunakan yaitu pasir dengan ukuran butir 0,1-0,3 mm.
2. Spesimen besi yang digunakan yaitu jenis AISI 1045 dengan dimensi bentuk tabung berdiameter 2 cm dan tinggi 1 cm.
3. Wadah yang digunakan untuk meletakkan sampel tanah dan spesimen besi yaitu pipa PVC.
4. Digunakan lima variasi konsentrasi larutan NaCl pada pengukuran resistivitas dan laju korosi. Konsentrasi NaCl yang digunakan, yaitu 0,035 M, 0,07 M, 0,1 M, 0,2 M, dan 0,3 M.
5. Untuk pengukuran laju korosi hanya digunakan lima variasi waktu, yaitu minggu pertama (192 jam), minggu kedua (360 jam), minggu ketiga (528 jam), minggu keempat (696 jam), dan minggu kelima (864 jam).
6. Jenis korosi yang diharapkan terjadi pada pengukuran laju korosi dengan metode *weight loss* adalah *uniform corrosion* atau korosi general.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari pengerjaan tugas akhir ini adalah

1. Mengetahui persamaan numerik hubungan antara resistivitas dengan korosivitas. Di mana persamaan tersebut dapat berguna untuk mengkonversi nilai parameter resistivitas menjadi nilai parameter korosivitas.
2. Dihasilkan penampang korosivitas tanah pada suatu area melalui proses konversi nilai resistivitas menjadi nilai laju korosi melalui persamaan numerik yang telah diperoleh.
3. Jika persamaan numerik dan penampang korosivitas ini diimplementasikan di lapangan, harapannya dapat diketahui area yang berpotensi menyebabkan laju korosi pada logam lebih cepat, sehingga setelahnya dapat dilakukan penanganan korosi lebih lanjut.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode Geolistrik

Penggunaan geolistrik pertama kali dilakukan oleh Conrad Schlumberger pada tahun 1912. Geolistrik merupakan salah satu metoda geofisika untuk mengetahui perubahan tahanan jenis lapisan batuan di bawah permukaan tanah dengan cara mengalirkan arus listrik DC (*'Direct Current'*) yang mempunyai tegangan tinggi ke dalam tanah. Injeksi arus listrik ini menggunakan 'Elektroda Arus' yang ditancapkan ke dalam tanah pada jarak tertentu. Semakin panjang jarak elektroda arus, akan menyebabkan aliran arus listrik bisa menembus lapisan batuan lebih dalam. Dengan adanya aliran arus listrik tersebut maka akan menimbulkan tegangan listrik di dalam tanah. Tegangan listrik yang terjadi di permukaan tanah diukur dengan penggunaan multimeter yang terhubung melalui "Elektroda Tegangan" yang jaraknya lebih pendek dari pada jarak elektroda arus. Bila posisi jarak elektroda arus diubah menjadi lebih besar maka tegangan listrik yang terjadi pada elektroda potensial ikut berubah sesuai dengan informasi jenis batuan yang ikut terinjeksi arus listrik pada kedalaman yang lebih besar (Telford, 1990).

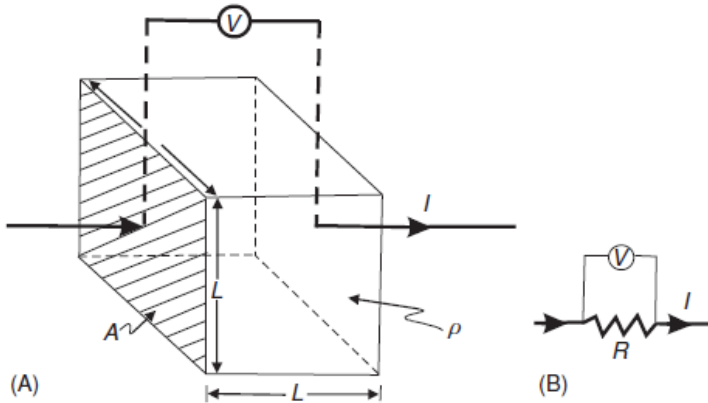
Geolistrik adalah suatu metoda eksplorasi geofisika untuk menyelidiki keadaan bawah permukaan dengan menggunakan sifat-sifat kelistrikan batuan. Sifat-sifat kelistrikan tersebut adalah, antara lain. tahanan jenis *specific resistivity*, *conductivity*, *dielectrical constant*, kemampuan menimbulkan self potential dan medan induksi serta sifat menyimpan potensial dan lain-lain. Metoda geolistrik menempati tempat yang unik pada klasifikasi geolistrik. Metoda - metoda eksplorasi geolistrik sangat beragam, ada metoda yang dapat dimasukkan dalam kategori dinamis, akan tetapi ada juga yang dapat dimasukkan kedalam kategori statis. Salah satu keunikan lain dari metoda geolistrik adalah terpecah-pecah menjadi bermacam-macam.

2.1.1 Metode Resistivitas

Salah satu metode geolistrik adalah metode tahanan jenis (resistivitas). Dengan mengetahui nilai tahanan jenis di bawah permukaan bumi, maka dapat ditentukan banyaknya lapisan penyusun dan jenis material penyusun. Metode resistivitas atau resistivitas merupakan salah satu metode Geofisika yang digunakan untuk penyelidikan bahwa permukaan, dengan mengukur sifat kelistrikan batuan. Batuan merupakan medium yang dapat menghantarkan arus listrik, karena di dalam batuan terdapat elektron dan ion-ion yang menjalar di dalam struktur batuan dan air tanah jika dalam batuan diberikan suatu beda potensial. Dasar yang dipakai dalam metode geolistrik adalah adanya beda resistivitas antar batuan atau medium. Dalam hal ini meliputi pengukuran

potensial, arus dan medan elektromagnetik yang terjadi, baik secara alamiah maupun akibat injeksi arus ke dalam bumi (Loke, 1999).

Diilustrasikan seperti gambar 2.1, di mana pada balok dengan panjang (L) dialiri arus (I). Material yang terdapat pada balok kemudian akan menahan aliran konduksi listrik yang melaluinya, hingga akan dihasilkan potensial (V) di antara dua luasan permukaan (ASTM G-187, 2005).



Gambar 2.1 (A) Definisi dasar dari arus I yang melalui suatu blok resistivitas dengan panjang L dan beda potensial V di antara dua luas permukaan A . (B) rangkaian listrik yang sebanding, di mana R bertindak sebagai resistor (ASTM G-187, 2005).

Untuk rangkaian listrik, berlaku hukum Ohm

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.1)$$

Di mana

R = hambatan atau resistansi (ohm, Ω)

V = beda potensial yang melalui resistor (V, volt atau mV, milivolt)

I = arus yang mengalir resistor (A, ampere atau mA, miliampere)

Hambatan atau resistansi merupakan potongan melintang dari material dengan panjang (L) terhadap sebuah luasan (A). Sedangkan hambatan jenis atau resistivitas merupakan resistivitas sebenarnya (*true resistivity*, ρ). Jika berdasarkan pada hukum Ohm, perbandingan antara beda potensial terhadap arus yang mengalir yang mendefinisikan resistansi (R) dengan jarak (luas permukaan/panjang) didefinisikan sebagai resistivitas.

$$\rho = \frac{VA}{IL} \quad (2.2)$$

Di mana

ρ = hambatan jenis atau resistivitas (Ωm)

V = beda potensial (V atau mV)

A = luas permukaan plat (m^2)

I = arus listrik (A atau mA)

L = jarak antar plat (m)

2.1.2 Metode Resistivitas *Induced Polarization* (IP)

Induced Polarization atau yang biasa disebut dengan polarisasi terimbas merupakan salah satu metode geolistrik yang bekerja dengan cara menginduksikan arus listrik pada media yang diukur untuk mengetahui polarisasi yang terjadi. Polarisasi yang terjadi pada media disebabkan karena ion-ion elektrolit dan mineral logam dalam media mengalami serah terima elektron sehingga mengalami polarisasi sesaat.

Metode polarisasi terimbas memiliki dua metode pengukuran, yang pertama *time domain* dan yang kedua *frequency domain*. Namun dalam penelitian ini hanya digunakan metode pengukuran *time domain*. Metode ini mengukur induksi polarisasi berdomain waktu. Ketika diinjeksikan arus pada sebuah media, kemudian arus diputus, seharusnya potensial yang terjadi langsung kembali menjadi nol, namun yang terjadi potensial akan meluruh secara perlahan terhadap waktu. Peluruhan potensial terhadap waktu ketika beda potensial ketika diinjeksikan arus dan ketika beda potensial setelah meluruh sempurna akan menghasilkan nilai yang disebut *chargeability* dengan persamaan seperti berikut ini.

$$M = \frac{V_o}{V_p} \Delta t \quad (2.3)$$

Di mana:

M = Chargeability (milisekon)

V_p = potensial awal ketika overvoltage (mV atau V)

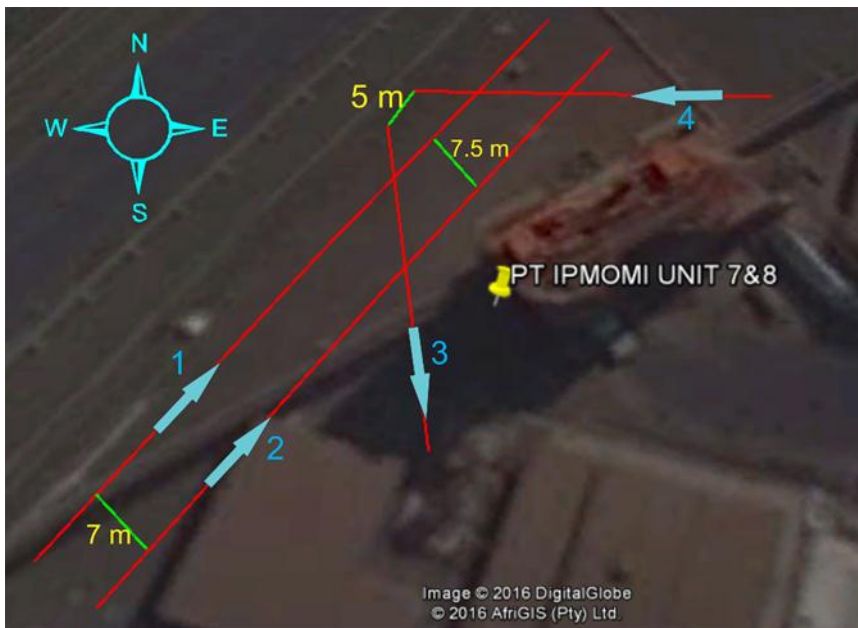
V_o = potensial observasi (mV atau V)

Δt = waktu (detik)

2.2 Resistivitas Lapangan

Pada penelitian ini, digunakan juga data sekunder berupa data penampang resistivitas lapangan menurut Taufiqurrohman, 2017. Data lapangan ini digunakan untuk kemudian dikonversi menggunakan persamaan hasil penelitian.

Tempat pengambilan data yaitu pada unit 7 & unit 8 PT IPMOMI Paiton Probolinggo. Lingkungan tempat akuisisi data merupakan lahan reklamasi yang didominasi oleh kerakal, kerikil, dan lempung.



Gambar 2.2 Desain akuisisi data resistivitas lapangan PT. IPMOMI (Taufiqurrohman, 2017)

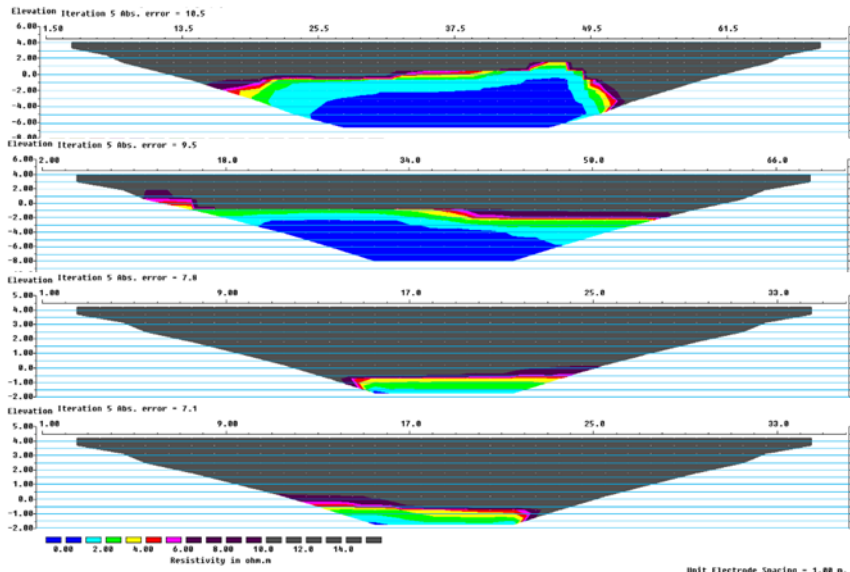
Desain akuisisi dibuat seperti pada gambar 2.2 dan detail tiap lintasan dijelaskan dalam tabel berikut ini.

Tabel 2.1 Lintasan desain akuisisi data lapangan PT. IPMOMI (Taufiqurrohman, 2017)

Lintasan	Koordinat		Panjang Lintasan	Spasi Elektroda
	<i>Easting</i>	<i>Northing</i>		
1	784390,17 m E	9146603,61 m S	70,5 m	1,5 m
	784432,86 m E	9146660,95 m S		
2	784384,20 m E	9146607,31 m S	70 m	2 m
	784426,48 m E	9146665,77 m S		
3	784410,18 m E	9146651,39 m S	35 m	1 m
	784415,83 m E	9146615,92 m S		

4	784412,62 m E	9146655,80 m S	35 m	1 m
	784448,65 m E	9146653,16 m S		

Setelah dilakukan akuisisi data lapangan, diperoleh penampang resistivitas seperti pada gambar 2.3 berikut ini.



Gambar 2.3 Penampang resistivitas lapangan PT. IPMOMI (Taufiqurrohman, 2017)

Gambar penampang resistivitas dapat diamati nilai resistivitas rendah berada pada bagian bawah dari tiap lintasan. Semakin dalam, nilai resistivitasnya semakin rendah. Jika dikaitkan dengan hubungan resistivitas terhadap korosivitas, seharusnya bagian bawah dari tiap lintasan dapat memberikan pengaruh terhadap korosi yang lebih tinggi.

2.3 Water (fluid) Content

Kelembaban media atau yang bisa disebut dengan kandungan air pada media merupakan jumlah air yang terkandung dalam media. Jika air terkandung dalam tanah, maka akan disebut kelembaban tanah. Kandungan air diwakili oleh perbandingan, rentang nilai kandungan air yaitu mulai nol hingga nilai seluruh pori media tersaturasi. Kandungan air dapat ditentukan dengan metode volumetrik ataupun gravimetric. (William T. Lambe, 1969)

Kandungan air diperoleh dengan perbandingan massa kering spesimen dan masa basah spesimen.

$$u = \frac{m_{\text{basah}} - m_{\text{kering}}}{m_{\text{kering}}} \cdot 100\% \quad (2.4)$$

Di mana u adalah kelembaban dengan satuan persen (%).

2.4 Porositas Absolut

Porositas absolut atau porositas total merupakan perbandingan antara pori yang terdapat pada suatu volume batuan terhadap volume keseluruhan batuan itu sendiri. Porositas biasanya dinyatakan dalam satuan persen (Koesumadinata, 1980).

$$\phi = \frac{V_p - V_{gr}}{V_b} \cdot 100\% \quad (2.5)$$

Di mana

ϕ = Porositas (%)

V_p = Volume total batuan (cm^3)

V_{gr} = Volume butiran (cm^3)

2.5 Salinitas Air Laut

Salinitas merupakan tingkat keasinan atau kadar garam yang terkandung dalam air. Kandungan garam kurang dari 0,05% dapat dikategorikan sebagai air tawar, sedangkan air dengan kandungan garam 0,05-3% dikategorikan sebagai air payau. Air dengan kandungan garam 3-5% dikategorikan sebagai air *saline*, dan air dengan kadar garam di atas 5% dikategorikasn sebagai air *Brine*. Secara alami, air laut dikategorikan sebagai air *saline*, dengan kandungan garam terlarut antara 3.5-5%. (Goetz P., 1986)

2.6 Korosivitas Tanah berdasarkan Resistivitas

Resistivitas tanah sangat penting sebagai indikator untuk menilai korosi yang disebabkan oleh tanah. Nilai resistivitas yang rendah (konduktivitas yang tinggi) dapat menghasilkan tingkat korosi yang tinggi. Tabel berikut ini dapat menjadi acuan untuk memprediksi korosivitas tanah terhadap resistivitas. (Puslitbang Metalurgi-LIPI, 1987)

Tabel 2.2 Resistivitas tanah dan tingkat peluang terjadinya korosi (LIPI, 1987)

Resistivitas tanah (Ωm)	Tingkat korosi
<7	Sangat tinggi
7-20	Tinggi
20-50	Sedang
50-100	Rendah
>100	Sangat rendah

Tabel 2.3 Hubungan nilai resistivitas tanah dengan nilai laju korosi dengan (Schwerdtfeger, 1964)

Resistivitas Tanah	Banyaknya Sampel Tanah	Laju Korosi		
		Min	Rerata	Maks
Ωm			mm/yr	
0,5-5	26	0,021	0,289	0,889
5-30	28	0,015	0,106	0,320
30-540	32	0,007	0,055	0,170

2.7 Teori Korosi

Korosi adalah proses perusakan logam, dimana logam akan mengalami penurunan mutu (*degradation*) karena bereaksi dengan lingkungan baik itu secara kimia atau elektrokimia pada waktu pemakaiannya. Terkorosinya suatu logam dalam lingkungan elektrolit (air) adalah suatu proses elektrokimia. Proses ini terjadi bila ada reaksi setengah sel yang melepaskan elektron (reaksi oksidasi pada anodik) dan reaksi setengah sel yang menerima elektron tersebut (reaksi reduksi pada katodik). Kedua reaksi ini akan terus berlangsung sampai terjadi kesetimbangan dinamis dimana jumlah elektron yang dilepas sama dengan jumlah elektron yang diterima. (Ahmad Zaki, 2006)

Dalimunthe pada tahun 2004, menjelaskan syarat-syarat di mana suatu proses korosi dapat terjadi, yaitu sebagai berikut:

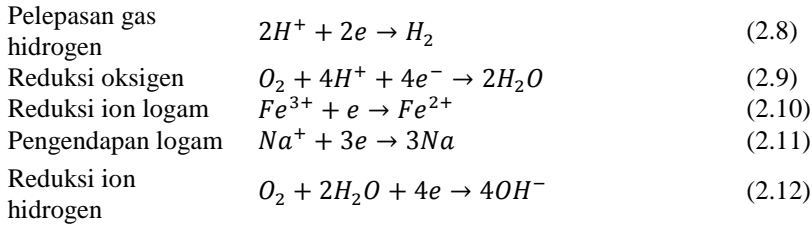
1. Anoda, tempat terjadinya reaksi oksidasi dimana ion negatif berkumpul. Anoda biasanya terkorosi dengan melepaskan elektron- elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion yang bersangkutan. Ion-ion ini mungkin tetap tinggal dalam larutan atau bereaksi membentuk hasil korosi yang tidak larut. Reaksi ini bisa menghalangi pelarutan logam lebih lanjut yang disebut pemasifan dimana reaksi korosi berhenti. Reaksi anodik yang terjadi pada proses korosi logam adalah sebagai berikut:



Proses korosi dari logam M adalah proses oksidasi logam menjadi satu ion (n^+) dalam pelepasan n elektron. Harga dari n bergantung dari sifat logam sebagai contoh besi:



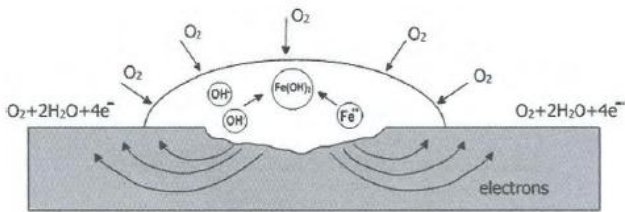
2. Katoda, tempat terjadinya reaksi reduksi dimana ion positif berkumpul. Pada katoda biasanya tidak mengalami korosi, walaupun demikian mungkin menderita kerusakan dalam kondisi-kondisi tertentu. Beberapa jenis reaksi katodik yang terjadi selama proses korosi logam yaitu:



Reaksi katodik dimana oksigen dari udara akan larut dalam larutan terbuka (*NaCl. H₂O*). Reaksi korosi tersebut sebagai berikut:

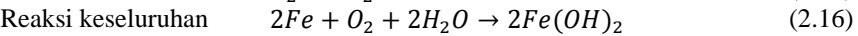
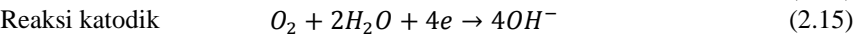
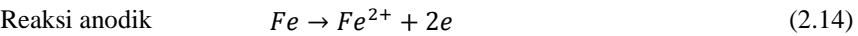


- Media elektrolit, sebagai penghantar elektron antara katoda dan anoda. Bersifat menghantarkan listrik.
- Adanya arus listrik akibat pergerakan elektron



Gambar 2.4 Ilustrasi proses korosi (Dalimunthe, 2004)

Peristiwa korosi pada struktur pipa, baik yang terjadi di lingkungan tanah dan air harus melibatkan syarat-syarat diatas. Peristiwa korosi pada struktur pipa memiliki reaksi anoda dan katoda:



2.8 Uniform Corrosion (Korosi General)

Selama ini proses terjadinya korosi dideskripsikan dalam istilah yang general. Pada kasus korosi pada logam, kerusakan terhadap logam yang terjadi akibat korosi seharusnya dikarakterisasi lebih mendetail, berdasarkan kemunculan dan lokasi terjadinya kerusakan akibat korosi itu sendiri.

Uniform corrosion atau korosi general merupakan jenis korosi yang diasumsikan terjadi dengan laju korosi yang seragam pada sebuah luasan permukaan logam. Perusakan terhadap logam yang terjadi mengakibatkan terjadinya reaksi di katoda maupun di anoda pada logam yang sama (Tretheway K.R, 1995).

2.9 Laju Korosi

Laju korosi pada umumnya dapat diukur dengan menggunakan dua metode yaitu: metode kehilangan (*weight loss*) berat dan metode elektrokimia. Metode *weight loss* menghitung kehilangan berat yang terjadi setelah beberapa waktu manipulasi kondisi pada logam. Pada penelitian ini, dilakukan perhitungan selisih antara berat awal dan berat akhir logam (Denny Jones, 1992).

Tabel 2.4 Variasi konstanta laju korosi

Satuan Laju Korosi	Satuan Luas (A)	Faktor K
Mils/tahun	in^2	$5,34 \times 10^5$
Mils/tahun	cm^2	$3,54 \times 10^6$
Milimeter/tahun	cm^2	$8,75 \times 10^4$

Tabel 2.5 Variasi konstanta *metal loss*

<i>Metal Loss</i>	Satuan Luas (A)	Faktor K
Mils	in^2	61,02
Mils	cm^2	393,7
Milimeter	cm^2	10

Satuan laju korosi yang biasa digunakan dalam pengukuran laju korosi metode *weight loss* yaitu mils per tahun (mpy) dan milimeter per tahun (mmy), persamaan yang digunakan untuk menghitung laju korosi *weight loss* adalah:

$$CR = \frac{\Delta W K}{\rho AT} \quad (2.17)$$

$$ML = \frac{\Delta W K}{\rho A} \quad (2.18)$$

Di mana:

CR = laju korosi (mmy atau mpy)

ML = *metal loss* (mils atau milimeter)

ΔW = berat yang hilang (g)

ρ = density benda uji korosi (g/cm^3)

A = luas permukaan (cm^2)

T = waktu (jam)

2.10 Besi Karbon AISI 1045

Besi karbon AISI 1045 merupakan besi yang termasuk dalam kategori besi dengan rentang kandungan karbon 0,12 hingga 2%. AISI 1045 dirancang untuk dapat digunakan pada area yang membutuhkan ketahanan kekerasan yang tinggi. Berikut ini merupakan spesifikasi besi karbon AISI 1045.

Tabel 2.6 Komposisi kimia besi karbon AISI 1045

Elemen	Konten (%)
Karbon, C	0,43-0,50
Mangan, Mn	0,6-0,9
Sulfur, S	0,05 (maksimum)
Phosphorous, P	0,04 (maksimum)
Silika, Si	0,25
Besi, Fe	98.5

Tabel 2.7 Karakteristik fisis dan mekanik besi karbon AISI 1045

Karakteristik	Metrik
Densitas	7,87 g/cc
Poissons Ratio	0,29
Elastic Modulus	200 GPa
Bulk Modulus	140 GPa
Shear Modulus	80 GPa
Kekuatan tensile, yield	565 MPa
Ekspansi Thermal	12 $\mu\text{m}/\text{mK}$

Besi alloy yang sebanding dengan AISI 1045 adalah AISI 1050, AISI 1049, AISI 1040, AISI 1038, JIS G 4051S45C, ASTM A29, AS 1442, WNR 1,0503 (Metal Samples Company, 2017).

BAB 3

METODOLOGI

3.1 Peralatan dan Bahan

3.1.1 Peralatan

Peralatan yang diperlukan untuk melakukan penelitian Tugas Akhir ini yaitu sebagai berikut ini :

Tabel 3.1 Alat-alat untuk keperluan penelitian

No.	Alat	Jumlah	Keterangan
1	Saringan pasir; mesh	5 buah	Ukuran: 1,13 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,1 mm, 0,075 mm
2	Gergaji besi	1 buah	
3	AVO meter	2 buah	12 Volt
4	Catu daya	1 buah	
5	Laptop	1 buah	
6	Gunting	1 buah	
7	Spatula kimia	1 buah	Ukuran 1 Liter, 500 ml, dan 50 ml
8	<i>Watch glass</i>	1 buah	
9	Gelas Ukur	3 buah	
10	Neraca Analitik	1 buah	

3.1.2 Bahan

Bahan-bahan yang diperlukan untuk melakukan penelitian Tugas Akhir ini yaitu sebagai berikut ini :

Tabel 3.2 Bahan-bahan untuk keperluan penelitian

No.	Bahan	Jumlah	Keterangan
1	Bubuk NaCl	900 gram	
2	Aquades	6,5 liter	
3	Sampel tanah: Pasir		
4	Spesimen besi AISI 1045	25 buah	Jari-jari 2 cm dan tinggi 1 cm
5	Lempeng tembaga	10	5 cm x 6 cm
6	Kabel tembaga	8 m	D: 1 mm, l: 2 m
7	Saringan Kasa		
8	Pipa PVC	1 buah	Diameter 2,54 cm, panjang 4 m

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Departemen Teknik Geofisika Insitut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dengan rincian kegiatan seperti berikut ini.

Tabel 3.3 Rincian waktu dan tempat penelitian

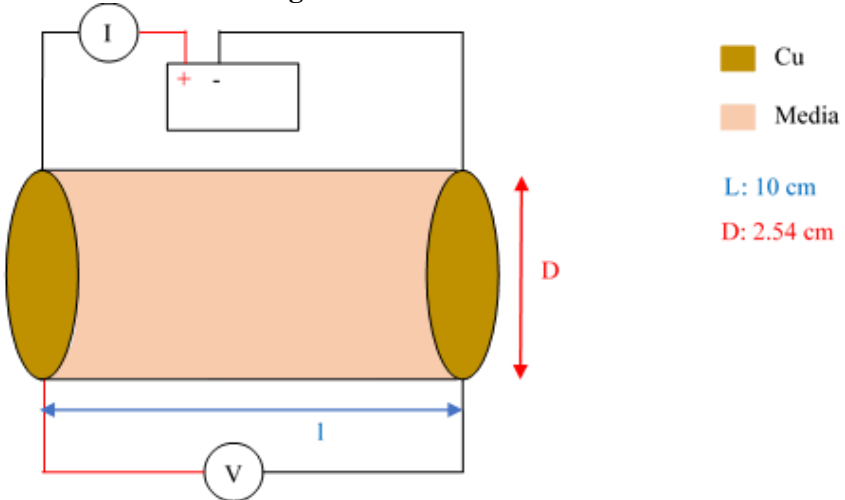
Kegiatan	Waktu		Tempat
	Mulai	Selesai	
Pengukuran resistivitas	20 April 2017	30 April 2017	Lab. Petrofisika
Pengukuran laju korosi minggu 1	30 April 2017	9 Mei 2017	Lab. Petrofisika
Pengukuran laju korosi minggu 2	30 April 2017	16 Mei 2017	Lab. Petrofisika
Pengukuran laju korosi minggu 3	30 April 2017	23 Mei 2017	Lab. Petrofisika
Pengukuran laju korosi minggu 4	30 April 2017	30 Mei 2017	Lab. Petrofisika
Pengukuran laju korosi minggu 5	30 April 2017	6 Juni 2017	Lab. Petrofisika

3.3 Desain Alat Pengukuran

Alat resistivitas yang dibuat untuk melakukan pengukuran memiliki dua elektroda, acuan desain alat pengukuran resistivitas dua elektroda ini yaitu ASTM G-187. Di mana kedua elektroda berbentuk lempeng tembaga ditempatkan di ujung-ujung pipa PVC. Ampere meter dirangkai seri dengan sumber potensial kemudian disambungkan dengan elektroda, kali ini digunakan sumber potensial berupa aki. Voltmeter dirangkai paralel dengan elektroda. Ilustrasi rangkaian alat seperti gambar 3.1.

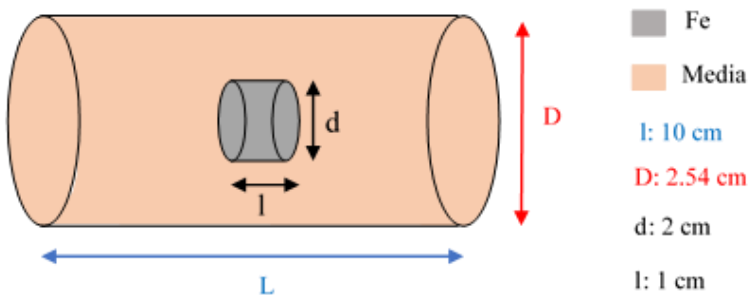
Pipa dengan dimensi yang sama seperti pada alat pengukuran resistivitas digunakan juga untuk melakukan uji laju korosi. Berbeda dengan alat pengukuran resistivitas, alat pengukuran resistivitas menggunakan tutup pipa PVC pada kedua ujung-ujung pipa, sehingga media rekondisi dan spesimen besi dapat terisolasi dari udara dan lingkungan luar pipa. Ilustrasi alat ukur laju korosi seperti gambar 3.2.

3.3.1 Desain Alat Pengukuran Resistivitas



Gambar 3.1 Rangkaian alat ukur resistivitas. Plat tembaga diletakkan pada kedua ujung pipa, diameter pipa yaitu 2,54 cm dengan panjang pipa 10 cm. amperemeter dirangkai seri dengan daya dan voltmeter dirangkai paralel dengan daya.

3.3.2 Desain Alat Pengukuran Laju Korosi



Gambar 3.2 Alat ukur laju korosi. Dimensi pipa alat ukur laju korosi dibuat sama dengan dimensi pipa pengukuran resistivitas, spesimen besi diletakkan di tengah-tengah pipa, kemudian pipa ditutup dengan menggunakan tutup pipa.

3.4 Alur Pengerjaan Penelitian

Rencana pengerjaan Tugas Akhir ini dapat direpresentasikan berdasarkan diagram alir yang telah dibuat seperti dibawah ini:

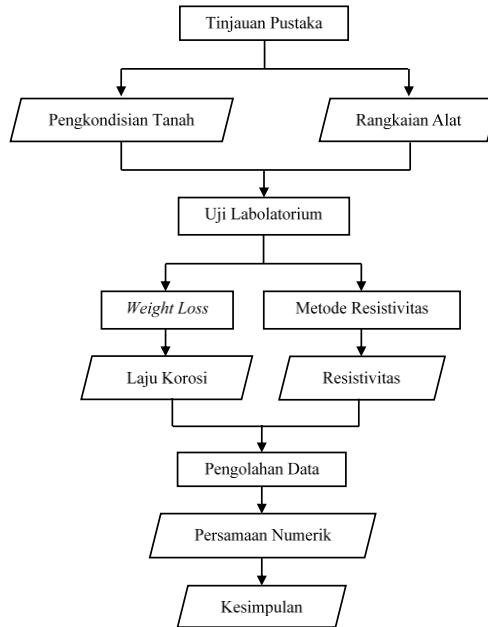


Diagram 3.1 Alur Penelitian Tugas Akhir

3.5 Langkah Kerja

3.5.1 Pengkondisian Tanah

Sebelum memulai pengukuran laboratorium, perlu dilakukan pengkondisian terlebih dahulu terhadap tanah atau pasir. Hasil yang diinginkan pada tahap ini yaitu pasir berbutir seragam dengan ukuran mesh 35 atau setara dengan besar butir 0,5 mm dan tidak mengandung pasir besi. Langkah kerja pengkondisian tanahnya yaitu sebagai berikut ini:

1. Pasir terlebih dahulu disaring dengan menggunakan mesh 50 dan 140, kemudian pasir hasil saringan ditampung. Kemudian diperoleh ukuran butir pasir.
2. Setelah disaring, dibersihkan clay yang ada pada pasir dengan mencuci pasir dengan menggunakan air.
3. Kemudian pasir dibersihkan dari kandungan besi dengan menggunakan magnet.
4. Diperoleh sampel media rekondisi.

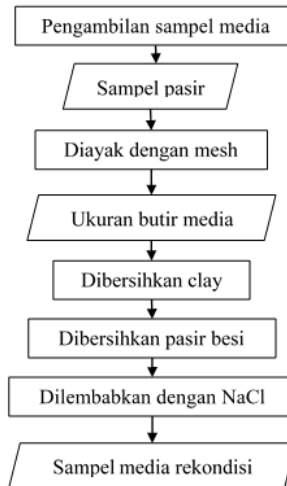


Diagram 3.2 Alur pengkondisian media

3.5.2 Pengukuran Resistivitas

Pada pengukuran resistivitas peralatan dan bahan yang diperlukan yaitu larutan NaCl, pasir yang telah dikondisikan, pipa PVC, lempeng tembaga, kabel tembaga, catu daya, dan AVO meter.

Alur pengerjaan dijelaskan seperti pada diagram 3.3 dan langkah-langkah berikut ini.

1. Pertama-tama, dengan menggunakan AVO meter, diukur resistivitas lima variasi larutan NaCl.
2. Kemudian dirangkai terlebih dahulu alat ukur seperti pada gambar 3.1. diperoleh alat ukur resistivitas.
3. Disiapkan pasir dan pipa PVC tanpa diberikan larutan NaCl, kemudian kedua ujung pipa disambungkan ke ampere meter dan voltmeter. Amperemeter dipasang seri dan voltmeter dipasang paralel.
4. Dicatat nilai arus dan beda potensial yang terbaca pada amperemeter dan voltmeter. Diperoleh data arus dan beda potensial maksimum.
5. Setelah itu, lepaskan salah satu sambungan arus, kemudian hitung waktu peluruhan dari potensial maksimum hingga dihasilkan potensial akhir yang konstan. Diperoleh data waktu peluruhan dan beda potensial akhir.
6. Dilakukan juga untuk variasi larutan NaCl yang lainnya sehingga seluruh data resistivitas media rekondisi diperoleh.

3.5.3 Pengukuran Laju Korosi

Pengukuran nilai laju korosi yaitu dengan menggunakan metode *lose weight*. Peralatan dan bahan yang dibutuhkan yaitu toples plastik, pasir yang

telah disaring menggunakan mesh, bubuk NaCl, air destilasi, plastik, karet gelang, dan spesimen besi AISI 1045.

Alur pengerjaan dijelaskan pada diagram 3.3 dan langkah-langkah berikut ini.

1. Larutan NaCl dibuat terlebih dahulu dengan mencampurkan bubuk NaCl ke dalam air destilasi sesuai dengan takaran. Variasi konsentrasi NaCl yang dibuat yaitu 0,035 M, 0,07 M, 0,1 M, 0,2 M dan 0,3 M. Diperoleh larutan NaCl.
2. Besi lonjoran AISI 1045 berdiameter 2 cm dipotong dengan panjang 1 cm, kemudian dibersihkan permukaan besi hingga bersih dari noda kotor.
3. Ditimbang berat awal besi.
4. Pasir hasil pengkondisian tanah ditempatkan pada pipa PVC dengan takaran yang seragam. Bersamaan dengan tahap ini dimasukkan juga spesimen besi ke dalam tanah, dengan posisi spesimen besi berada tepat di tengah-tengah pipa. Disiapkan 5 buah pipa untuk masing-masing variasi konsentrasi.
5. Kemudian digunakan plastik untuk menutup mulut pipa, fungsinya yaitu untuk mengurangi penguapan sekaligus menjaga kelembaban tanah.
6. Setelah itu ditunggu selama lima minggu, di mana tiap minggu satu pipa dari masing-masing variasi konsentrasi NaCl dibuka untuk diukur perubahan massa yang terjadi pada spesimen besi.
7. Pengukuran massa spesimen besi diawali dengan membersihkan pasir dan karat yang masih menempel pada spesimen dengan menggunakan sikat. Setelah cukup bersih spesimen kemudian diukur beratnya.

8. Dilakukan langkah ke-7 pada sepesimen yang telah diambil dari toples setiap minggu pertama hingga minggu kelima.

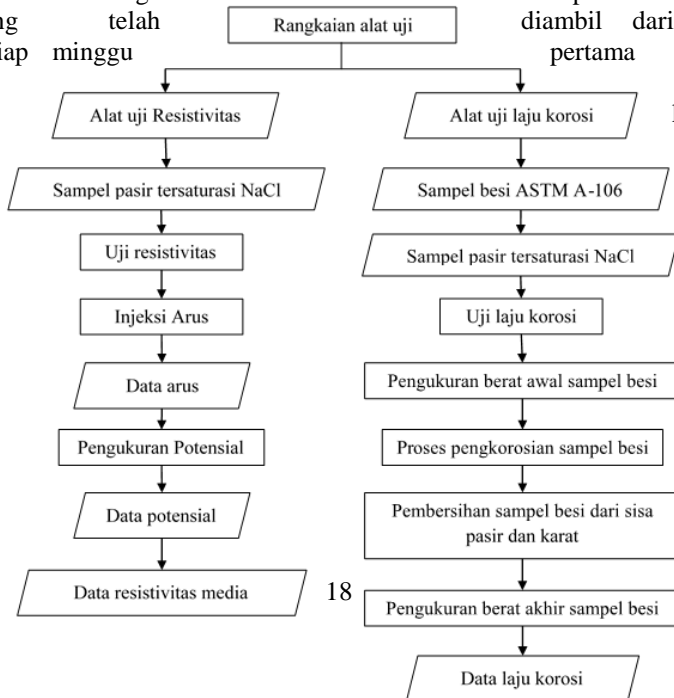


Diagram 3.3 Alur pengukuran resistivitas dan laju korosi

BAB 4

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data Hasil Pengukuran

4.1.1 Informasi Fisis Media

Media yang digunakan pada penelitian ini yaitu pasir yang berasal dari Pantai Sumber Kemuning yang ada di Kabupaten Bangkalan Madura. Alasan pemilihan media pasir pantai ini yaitu karena pasir pantai memiliki ukuran butir yang dominan seragam, yaitu memiliki ukuran butir pasir sebesar 0,1-0,3 mm. Selain itu, pasir memiliki kandungan shale yang lebih sedikit yaitu sekitar 13%.

Tabel 4.1 Informasi Fisis Media

Informasi	Keterangan
Jenis	Pasir
Tempat pengambilan	Pantai Sumber Kemuning Bangkalan, Madura
Ukuran butir	0,1-0,3 mm
Volume per sampel	50,645 cm^3
Densitas pasir kering	1,706 gr/cm^3
Densitas pasir basah	2.327 gr/cm^3
<i>Fluid content</i>	26.694%
Porositas	86,066%

Data pada tabel 4.1 diperoleh dari pengukuran pasir menggunakan *mesh*. Data tersebut digunakan untuk menentukan kelembaban media rekondisi. Dengan menggunakan persamaan 2.4, kelembaban media rekondisi diperoleh, yaitu sebesar 26,694%.

4.1.2 Pengukuran Resistivitas dan *Induced Polarization*

Multimeter dan alat pengukuran resistivitas digunakan untuk memperoleh data resistivitas dan *induced polarization*. Data tiap media rekondisi diukur berulang-ulang sebanyak 10 kali, sehingga diperoleh data rata-rata dari nilai resistivitas dan *induced polarization* setiap media rekondisi. Data hasil pengukuran dan dokumentasi pengukuran terlampir.

4.1.3 Pengukuran Laju Korosi

Pengukuran laju korosi dengan mengukur berat awal spesimen besi sebelum dimasukkan ke dalam alat pengukuran laju korosi, dan kemudian mengukur berat akhir besi setelah besi dibiarkan berada di dalam media rekondisi selama minggu pertama hingga minggu kelima. Data hasil pengukuran dan dokumentasi pengukuran terlampir.

4.2 Perhitungan

4.2.1 *Water (fluid) Content*

Dengan menggunakan persamaan 2.4, dilakukan perhitungan guna mengukur kelembaban tanah. Untuk melembabkan tanah yang digunakan sebagai media rekondisi, dimasukkan 20 ml fluida ke dalam tanah, selanjutnya diukur berat kering dan berat basah tanah. Diperoleh massa kering pasir sebesar 86.403 gram dan massa pasir yang telah ditambahkan fluida sebesar 117.351 gram. Nilai kelembaban yang diukur ini diasumsikan sama untuk setiap sampel.

$$u = \frac{m_{\text{basah}} - m_{\text{kering}}}{m_{\text{kering}}} \times 100\%$$
$$u = \frac{117,351 - 86,403}{86,403} \times 100\%$$
$$u = 26,372\%$$

4.2.2 Porositas

Dengan menggunakan persamaan 2.5, dilakukan perhitungan guna mengukur porositas tanah. Untuk mendapatkan porositas tanah, diperlukan input volume pasir yang telah dimasukkan larutan NaCl sebanyak 20 ml dan volume pori yang terjadi. Volume total pasir + larutan adalah 70,645 ml dan berat pasir kering adalah 50,645 ml. Nilai porositas yang diukur ini diasumsikan sama untuk setiap sampel.

$$\phi = \frac{V_{\text{total}} - m_{\text{pori}}}{m_{\text{total}}} \times 100\%$$
$$\phi = \frac{70,645 - 60,645}{70,645} \times 100\%$$
$$\phi = 28,31\%$$

4.2.3 Resistivitas

4.2.3.1 *Metode Resistivitas*

Dengan menggunakan persamaan 2.2, dilakukan perhitungan nilai resistivitas media rekondisi. Berikut ini merupakan salah satu contoh perhitungan nilai resistivitas pada salah satu data sampel pasir + larutan NaCl 0,035M di mana data-data sampel yaitu potensial yang terukur 15,5 mV, arus yang mengalir 0,49 mA, dan perbandingan luas permukaan sisi pipa terhadap panjang pipa sebesar 0,005 m, dan perhitungannya adalah sebagai berikut ini:

$$\rho = \frac{VA}{IL}$$
$$\rho = \frac{15,5 \times 0,005}{0,49}$$

$$\rho = 0,16 \Omega m$$

Berikut ini merupakan seluruh hasil perhitungan nilai resistivitas.

Tabel 4.2 Data perhitungan resistivitas pasir + larutan NaCl 0,035 M

Kondisi		Pasir + Larutan NaCl 0,035 M		
No.	V (mV)	I (mA)	A/L	ρ (Ωm)
1	15,5	0,49	0,005	0,160
2	17,2	0,49	0,005	0,178
3	16,5	0,49	0,005	0,171
4	13,4	0,49	0,005	0,138
5	42,5	1,31	0,005	0,164
6	39,8	1,52	0,005	0,133
7	41,3	1,54	0,005	0,136
8	43,2	1,53	0,005	0,143
9	40,8	1,51	0,005	0,137
10	41,9	1,53	0,005	0,139

Tabel 4.3 Data perhitungan resistivitas pasir + larutan NaCl 0,07 M

Kondisi		Pasir + Larutan NaCl 0,07 M		
No.	V (mV)	I (mA)	A/L	ρ (Ωm)
1	20,1	0,99	0,005	0,103
2	28,1	0,99	0,005	0,144
3	28,7	0,99	0,005	0,147
4	21,3	0,99	0,005	0,109
5	20,4	0,99	0,005	0,104
6	22,1	0,99	0,005	0,113
7	24	0,99	0,005	0,123
8	21,1	0,99	0,005	0,108
9	27,8	0,99	0,005	0,142
10	31,1	0,99	0,005	0,159

Tabel 4.4 Data perhitungan resistivitas pasir + larutan NaCl 0,1 M

Kondisi		Pasir + Larutan NaCl 0,1 M		
No.	V (mV)	I (mA)	A/L	ρ (Ωm)
1	12,1	1,54	0,005	0,040
2	11,2	1,54	0,005	0,037
3	11,3	1,54	0,005	0,037
4	17,9	1,54	0,005	0,059
5	16,5	1,54	0,005	0,054
6	18,4	1,54	0,005	0,061

7	17,6	1,54	0,005	0,058
8	18,8	1,54	0,005	0,062
9	11,4	1,54	0,005	0,037
10	14,4	1,54	0,005	0,047

Tabel 4.5 Data perhitungan resistivitas pasir + larutan NaCl 0,2 M

Kondisi		Pasir + Larutan NaCl 0,2 M		
No.	V (mV)	I (mA)	A/L	ρ (Ωm)
1	4,9	1,54	0,005	0,016
2	5,4	1,54	0,005	0,018
3	7,6	1,54	0,005	0,025
4	6,4	1,54	0,005	0,021
5	4,9	1,54	0,005	0,016
6	3,3	1,54	0,005	0,011
7	7,5	1,49	0,005	0,025
8	4,9	1,49	0,005	0,017
9	8,1	1,49	0,005	0,028
10	5,5	1,49	0,005	0,019

Tabel 4.6 Data perhitungan resistivitas pasir + larutan NaCl 0,3 M

Kondisi		Pasir + Larutan NaCl 0,3 M		
No.	V (mV)	I (mA)	A/L	ρ (Ωm)
1	2,2	0,94	0,005	0,012
2	2,2	0,94	0,005	0,012
3	5,7	0,94	0,005	0,031
4	2,4	0,94	0,005	0,013
5	5,5	0,94	0,005	0,030
6	1,4	0,94	0,005	0,008
7	1,4	0,94	0,005	0,008
8	3,3	0,94	0,005	0,018
9	2,7	0,94	0,005	0,015
10	3,3	0,94	0,005	0,018

4.2.3.2 Metode Induced Polarization (IP)

Dengan menggunakan persamaan 2.3, dilakukan perhitungan nilai chargeability media rekondisi. Berikut ini merupakan salah satu contoh perhitungan nilai chargeability pada salah satu data sampel pasir + larutan NaCl 0,035M di mana data-data sampel yaitu potensial primer yang terukur 15.5 mV, potensial sekunder 14.1 mV, dan selisih waktu perubahan potensial sebesar 3.51 s, dan perhitungannya adalah sebagai berikut ini:

$$M = \frac{V_o}{V_p} \Delta t$$

$$M = \frac{15,5}{14,1} \times 3.51$$

$$M = 3,193 \text{ milisecond}$$

Berikut ini merupakan seluruh hasil perhitungan nilai *chargeability*.

Tabel 4.7 Data perhitungan *chargeability* pasir + larutan NaCl 0,035 M

Kondisi		Pasir + Larutan NaCl 0,035 M		
No.	V (mV)	V _o (mV)	Δt (s)	M (milisecond)
1	15,5	14,1	3,51	3,193
2	17,2	9,7	4,05	2,284
3	16,5	10,6	3,91	2,512
4	13,4	14,9	2,22	2,469
5	42,5	23,4	4,91	2,703
6	39,8	22,8	4,3	2,463
7	41,3	19,3	4,3	2,009
8	43,2	20,7	6,3	3,019
9	40,8	25	4,3	2,635
10	41,9	22,7	4,24	2,297

Tabel 4.8 Data perhitungan *chargeability* pasir + larutan NaCl 0,07 M

Kondisi		Pasir + Larutan NaCl 0,07 M		
No.	V (mV)	V _o (mV)	Δt (s)	M (milisecond)
1	20,1	19,8	2,17	2,138
2	28,1	27,8	2,46	2,434
3	28,7	17,4	3,59	2,177
4	21,3	11,5	3,56	1,922
5	20,4	10,3	3,29	1,661
6	22,1	15,9	2,57	1,849
7	24	14,2	3,53	2,089
8	21,1	11,3	3,71	1,987
9	27,8	16,4	3,14	1,852
10	31,1	17,6	3,64	2,060

Tabel 4.9 Data perhitungan *chargeability* pasir + larutan NaCl 0,1 M

Kondisi		Pasir + Larutan NaCl 0,1 M		
No.	V (mV)	V _o (mV)	Δt (s)	M (milisecond)
1	12,1	8,6	3	2,132
2	11,2	10,2	3,18	2,896
3	11,3	10,9	3,45	3,328

4	17,9	17,5	3,08	3,011
5	16,5	15,1	2,97	2,718
6	18,4	7,2	3,26	1,276
7	17,6	16,9	2,51	2,410
8	18,8	18,1	3,48	3,350
9	11,4	11,7	2,97	3,048
10	14,4	14,5	2,42	2,437

Tabel 4.10 Data perhitungan *chargeability* pasir + larutan NaCl 0,2 M

Kondisi		Pasir + Larutan NaCl 0,2 M		
No.	V (mV)	V_o (mV)	Δt (s)	M (milisecond)
1	4,9	4,5	2,62	2,406
2	5,4	5,2	2,48	2,388
3	7,6	7,4	3,55	3,457
4	6,4	5,3	2,85	2,360
5	4,9	4,3	4,35	3,817
6	3,3	3,1	3,26	3,062
7	7,5	7,5	2,1	2,100
8	4,9	2,3	4,07	1,910
9	8,1	7,3	2,4	2,163
10	5,5	3,2	3,2	1,862

Tabel 4.11 Data perhitungan *chargeability* pasir + larutan NaCl 0,3 M

Kondisi		Pasir + Larutan NaCl 0,3 M		
No.	V (mV)	V_o (mV)	Δt (s)	M (milisecond)
1	2,2	1,9	2,1	2,432
2	2,2	2,1	2,4	2,514
3	5,7	5,2	1,6	1,754
4	2,4	2,1	2,66	3,040
5	5,5	5,3	2,75	2,854
6	1,4	1,3	2,64	2,843
7	1,4	1,3	2,9	3,123
8	3,3	3,2	3,25	3,352
9	2,7	2,2	2,6	3,191
10	3,3	2,5	1,8	2,376

4.2.4 Laju Korosi

Dengan menggunakan persamaan 2.17, dilakukan perhitungan laju korosi. Berikut ini merupakan salah satu contoh perhitungan laju korosi pada data sampel minggu pertama pasir + larutan NaCl 0,035M, di mana data-data sampel yaitu selisih berat akhir dengan berat awal 0,0413 gram, densitas besi 7.87 gram/cc, luas permukaan besi yang bersentuhan dengan pasir 12,56 cm²,

dan lamanya waktu pengukuran yaitu seminggu lebih satu hari atau 192 jam, perhitungannya sebagai berikut ini.

$$CR = \frac{\Delta W}{\rho A T}$$

$$CR = \frac{0,0413 \times 8,75 \times 10^4}{7,87 \times 12,56 \times 192}$$

$$CR = 0,190411206 \text{ mm/tahun}$$

Berikut ini merupakan seluruh hasil perhitungan nilai laju korosi.

Tabel 4.12 Hasil perhitungan laju korosi pasir + larutan NaCl 0,035 M

Kondisi Pasir + larutan NaCl 0,035 M					
No.	W1 (gram)	W2 (gram)	ΔW	Δt (jam)	CR (mm/year)
1	21,5794	21,5381	0,0413	192	0,190411206
2	19,6064	19,5231	0,0833	360	0,204826518
3	20,6738	20,5291	0,1447	528	0,242593014
4	20,2709	20,0991	0,1718	696	0,218503099
5	19,6508	19,6151	0,0357	864	0,036576164

Tabel 4.13 Hasil perhitungan laju korosi pasir + larutan NaCl 0,07 M

Kondisi Pasir + larutan NaCl 0,07 M					
No.	W1 (gram)	W2 (gram)	ΔW	Δt (jam)	CR (mm/year)
1	21,6167	21,5111	0,1056	192	0,486862551
2	21,7275	21,5911	0,1364	360	0,335394202
3	20,7075	20,5541	0,1534	528	0,257178772
4	22,6159	21,7181	0,8978	696	1,141863111
5	20,2331	19,2621	0,9710	864	0,994830677

Tabel 4.14 Hasil perhitungan laju korosi pasir + larutan NaCl 0,1 M

Kondisi Pasir + larutan NaCl 0,1 M					
No.	W1 (gram)	W2 (gram)	ΔW	Δt (jam)	CR (mm/year)
1	20,9703	20,8411	0,1292	192	0,595668955
2	23,6062	23,4271	0,1791	360	0,440389308
3	21,7358	21,5171	0,2187	528	0,366655785

4	23,1651	22,9521	0,2130	696	0,270903144
5	22,0056	21,7181	0,2875	864	0,294555942

Tabel 4.15 Hasil perhitungan laju korosi pasir + larutan NaCl 0,2 M

Kondisi Pasir + larutan NaCl 0,2 M					
No.	W1 (gram)	W2 (gram)	ΔW	Δt (jam)	CR (mm/year)
1	19,5104	19,3981	0,1123	192	0,517752505
2	20,7861	20,6291	0,1570	360	0,386047579
3	20,5586	20,4021	0,1565	528	0,262375996
4	21,4356	21,0971	0,3385	696	0,430519785
5	19,5469	19,2621	0,2848	864	0,291789677

Tabel 4.16 Hasil perhitungan laju korosi pasir + larutan NaCl 0,3 M

Kondisi Pasir + larutan NaCl 0,3 M					
No.	W1 (gram)	W2 (gram)	ΔW	Δt (jam)	CR (mm/year)
1	19,3166	19,2161	0,1005	192	0,463349303
2	22,6159	22,2841	0,3318	360	0,815863609
3	19,1268	18,9161	0,2107	528	0,353243594
4	20,594	20,3541	0,2399	696	0,305115794
5	17,4737	17,1631	0,3106	864	0,318222871

4.3 Analisis Data dan Pembahasan

4.3.1 Pembuatan Media Rekondisi

Perlu dipahami di sini bahwa pemilihan media untuk melakukan penelitian tidak merunut pada kondisi sebenarnya seperti di lapangan. Pemilihan media di sini disesuaikan dengan mudah atau tidaknya media tersebut untuk dapat dikondisikan sesuai dengan yang diinginkan. Media yang kemudian akan digunakan untuk melakukan pengukuran resistivitas dan laju korosi merupakan pasir pantai. Pasir pantai di sini dipilih karena pasir pantai memiliki ukuran butir dan derajat pembundaran butir yang baik. Sehingga dalam pembuatan media rekondisi pasir yang memiliki porositas dan permeabilitas yang baik dan dapat mempermudah pengkondisian pasir sesuai dengan yang diharapkan.

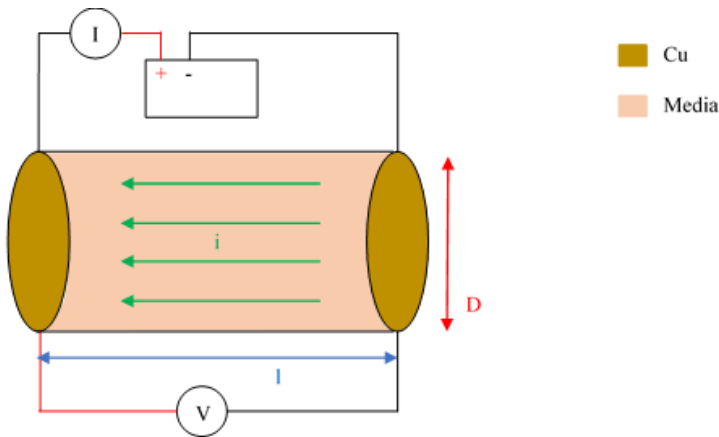
Pembuatan media rekondisi diawali membuat larutan NaCl dengan lima variasi konsentrasi. Larutan NaCl dibuat dengan cara mengukur berat

NaCl dan menakar aquades untuk melarutkan NaCl sesuai dengan konsentrasi yang diinginkan, karena prinsip yang digunakan untuk membuat variasi konsentrasi NaCl adalah berat NaCl per volume pelarut atau aquades. Lima variasi konsentrasi NaCl yang dibuat adalah 0,035 M, 0,07 M, 0,1 M, 0,2 M, dan 0,3 M. Variasi ini dibuat berdasarkan salinitas air laut alami di mana kadar NaCl dalam air laut memiliki salinitas 3-5% atau konsentrasi sekitar 0,035-0,05 M. Konsentrasi larutan NaCl 0,1 M, 0,2 M, dan 0,3 M dibuat untuk menambah titik-titik referensi pada grafik persamaan.

Setelah diperoleh lima variasi konsentrasi larutan NaCl, kemudian pasir diukur volume dan beratnya ketika dimasukkan ke dalam pipa PVC dengan volume $50,645 \text{ cm}^3$, volume pasir dianggap sama mengikuti volume pipa PVC. Diperoleh berat kering pasir sebesar 86,403 gram. Selanjutnya dimasukkan fluida berupa larutan NaCl yang telah di siapkan tadi ke dalam pasir sebanyak 20 ml dengan tujuan melembabkan pasir oleh fluida. Fluida yang dimasukkan hanya 20 ml karena tidak diharapkan pasir tersaturasi penuh oleh fluida. Setelah fluida dimasukkan, pasir yang telah ditambahkan fluida kembali ditimbang, diperoleh berat pasir + larutan NaCl 20 ml sebesar 117,866 gram. Untuk mengetahui nilai *fluid content* yang terjadi, digunakan metode volumetrik dalam mengukur kelembaban tanah. Di mana metode ini membandingkan selisih berat pasir yang telah ditambahkan fluida dengan berat pasir kering terhadap berat pasir yang telah ditambahkan fluida. Diperoleh nilai *fluid content* 26,694%. Setelah serangkaian prosedur tadi, media rekondisi diperoleh. Volume, densitas, kelembaban, berat kering, dan berat basah, media rekondisi diasumsikan sama untuk setiap sampel pengukuran.

4.3.2 Alat Pengukuran Resistivitas

Desain alat pengukuran resistivitas yaitu seperti gambar 4.1, menggunakan dua lempeng tembaga pada kedua ujung pipa PVC. Hal ini dilakukan agar arus yang mengalir melalui seluruh bagian media rekondisi sehingga resistivitas media rekondisi dapat terukur secara keseluruhan.



Gambar 4.1 Proses pengukuran resistivitas, ketika pengukuran dilakukan, lempeng tembaga diletakkan pada kedua ujung pipa, kemudian kedua tembaga dihubungkan ke voltmeter dan dihubungkan ke aki (sumber potensial) yang telah dirangkai seri dengan amperemeter.

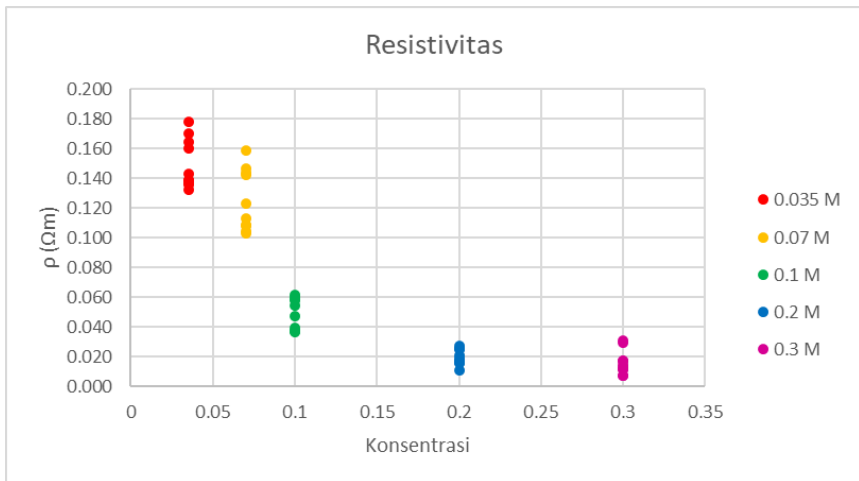
Setelah dirangkai alat, kemudian dilakukan pengukuran terhadap media rekondisi. Setelah diperoleh nilai potensial dan arus yang konstan, dapat diperoleh nilai resistivitas dari perbandingan potensial dalam suatu luasan terhadap arus yang mengalir sepanjang media rekondisi dalam pipa. Perhitungan nilai resistivitas dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.2.

4.3.3 Resistivitas

4.3.3.1 Metode Resistivitas

Data resistivitas diukur menggunakan alat ukur resistivitas seperti pada gambar 4.1. Masukkan yang diperlukan untuk menghasilkan data resistivitas yaitu nilai arus injeksi dan beda potensial yang terukur pada ujung-ujung pipa. Nilai resistivitas kemudian diukur dengan menggunakan persamaan 2.2. ketika perhitungan dilakukan, selain digunakan nilai arus injeksi dan beda potensial yang terukur, digunakan juga luas penampang tembaga yang bersentuhan dengan media rekondisi dan juga panjang pipa tempat media rekondisi ditempatkan. Data resistivitas kemudian dibandingkan dengan data laju korosi.

Setelah diperoleh data resistivitas seperti pada tabel 4.2 hingga tabel 4.6, seluruh data kemudian dibuat grafik tiap konsentrasi larutan untuk mengetahui rentang data resistivitas dan rata-rata data resistivitas media rekondisi tiap konsentrasi. Berikut ini grafik pengambilan data resistivitas yang diperoleh.



Grafik 4.1 Kompilasi data resistivitas hasil pengukuran. Sumbu y merupakan laju korosi dan sumbu x merupakan konsentrasi.

Grafik 4.1 menunjukkan rentang nilai resistivitas tiap media rekondisi. Media rekondisi dengan konsentrasi larutan NaCl 0,035 M memiliki nilai resistivitas rata-rata $0,1498 \pm 0,0166 \Omega m$. Media rekondisi dengan konsentrasi larutan NaCl 0,07 M memiliki nilai resistivitas rata-rata $0,1251 \pm 0,0208 \Omega m$. Media rekondisi dengan konsentrasi larutan NaCl 0,1 M memiliki nilai resistivitas rata-rata $0,0491 \pm 0,0106 \Omega m$. Media rekondisi dengan konsentrasi larutan NaCl 0,2 M memiliki nilai resistivitas rata-rata $0,0195 \pm 0,0052 \Omega m$. Kemudian media rekondisi dengan konsentrasi larutan NaCl 0,3 memiliki nilai resistivitas rata-rata $0,0162 \pm 0,0081 \Omega m$.

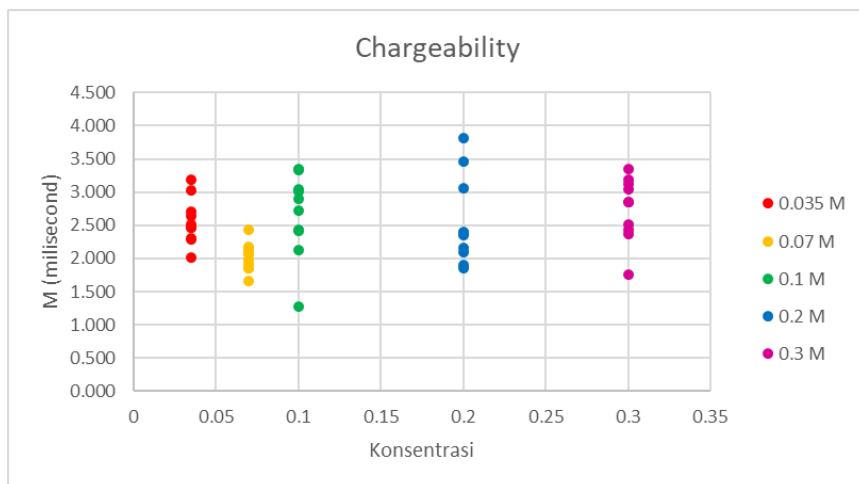
Pada grafik 4.1, dapat diamati bahwa semakin tinggi konsentrasi, rentang nilai resistivitas media rekondisi cenderung semakin mengecil. Penurunan nilai resistivitas terhadap konsentrasi tidak terjadi secara linier melainkan secara eksponensial. Ini artinya media rekondisi semakin konduktif. Jika media rekondisi semakin konduktif maka seharusnya media semakin bersifat korosif terhadap logam.

4.3.3.2 Metode Induced Polarization

Data *chargeability* diukur menggunakan alat resistivitas. Masukkan yang diperlukan untuk mendapatkan data *chargeability* yaitu nilai injeksi arus dan potensial primer, potensial sekunder, selisih waktu pengukuran potensial primer dan potensial sekunder. Potensial primer diperoleh ketika rangkaian alat ukur resistivitas tersambung atau media rekondisi jenuh dengan arus. Potensial sekunder diperoleh setelah arus diputus dari rangkaian dan potensial meluruh. Pengukuran *chargeability* dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.4.

Nilai *chargeability* yang diperoleh kemudian dianalisis, sebaran nilai *chargeability* akan menunjukkan karakter media rekondisi.

Data *chargeability* diperoleh seperti pada tabel 4.2 hingga tabel 4.6, seluruh data kemudian dibuat grafik tiap konsentrasi larutan untuk mengetahui rentang data *chargeability* media rekondisi. Berikut ini merupakan grafik data *chargeability* yang diperoleh.



Grafik 4.2 Kompilasi data *chargeability*. Sumbu y merupakan nilai *chargeability* dalam milisekon dan sumbu x merupakan konsentrasi dalam molaritas.

Dari 4.2, dapat diketahui rentang nilai *chargeability* tiap media rekondisi. Media rekondisi dengan konsentrasi larutan NaCl 0,035 M memiliki rata-rata nilai *chargeability* $2,558 \pm 0,3505$ milisekon. Media rekondisi dengan konsentrasi larutan NaCl 0,07 M memiliki rata-rata nilai *chargeability* $2,0167 \pm 0,2140$ milisekon. Media rekondisi dengan konsentrasi larutan NaCl 0,1 M memiliki rata-rata nilai *chargeability* $2,6606 \pm 0,6291$ milisekon. Media rekondisi dengan konsentrasi larutan NaCl 0,2 M memiliki rata-rata nilai *chargeability* $2,5525 \pm 0,6673$ milisekon. Kemudian media rekondisi dengan konsentrasi larutan NaCl 0,3 memiliki rata-rata nilai *chargeability* $2,7478 \pm 0,4816$ milisekon.

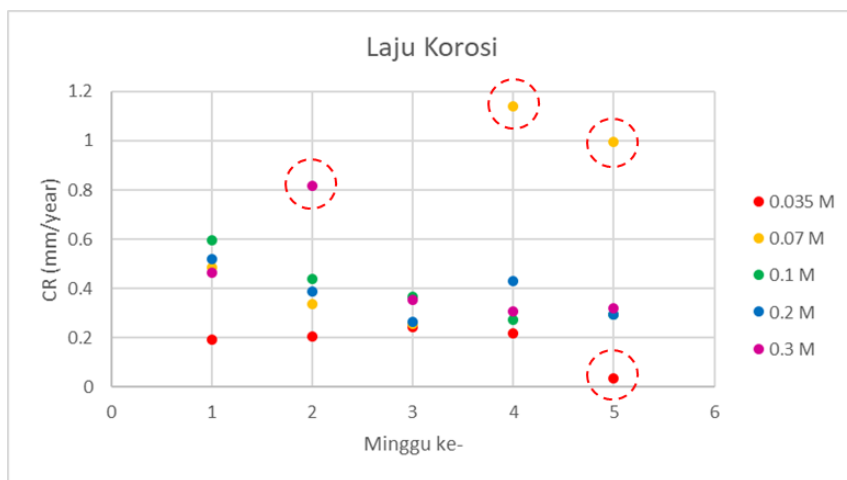
Pada grafik 4.2, *chargeability* tiap konsentrasi larutan, dapat diamati bahwa nilai *chargeability* cenderung stabil dengan rentang rata-rata nilai *chargeability* antara 2,0167-2,7478 milisekon. Hal ini menandakan bahwa karakter media rekondisi memiliki kandungan logam yang cenderung sama jumlahnya walaupun telah dimasukkan larutan NaCl ke dalam pasir. Dengan

rentang nilai *chargeability* tersebut dapat divalidasi bahwa media yang digunakan seragam, yaitu pasir.

4.3.4 Laju Korosi

Setelah diperoleh data laju korosi dengan melakukan perhitungan seperti yang telah dibahas sebelumnya, seluruh data dibuat grafik tiap minggunya untuk mengetahui hubungan konsentrasi larutan terhadap perubahan berat yang terjadi.

Data laju korosi yang diperoleh memiliki rata-rata laju korosi besi pada tiap-tiap media rekondisi. Pada media rekondisi dengan konsentrasi larutan NaCl 0,035 M memiliki rata-rata laju korosi 0,2141 mm/tahun. Media rekondisi dengan konsentrasi larutan NaCl 0,07 M memiliki rata-rata laju korosi 0,3498 mm/tahun. Media rekondisi dengan konsentrasi larutan NaCl 0,1 M memiliki rata-rata laju korosi 0,3936 mm/tahun. Media rekondisi dengan konsentrasi larutan NaCl 0,2 M memiliki rata-rata laju korosi 0,3777 mm/tahun. Media rekondisi dengan konsentrasi larutan NaCl 0,3 M memiliki rata-rata laju korosi 0,3600 mm/tahun.



Grafik 4.3 Kompilasi data laju korosi. Sumbu x merupakan waktu pengukuran *weight loss* dan sumbu y merupakan laju korosi yang terjadi. Data yang diberikan tanda lingkaran merupakan data yang error.

Data dan grafik selisih berat besi pada media rekondisi, menunjukkan bahwa selisih berat dari minggu pertama hingga minggu kelima nilainya cenderung semakin bertambah, semakin tinggi nilai konsentrasi larutan NaCl semakin tinggi selisih berat awal besi dan berat besi setelah dimasukkan ke dalam media rekondisi. Hal ini selaras dengan pernyataan bahwa semakin tinggi

konsentrasi larutan NaCl dan semakin rendah nilai resistivitas, maka laju korosi yang terjadi semakin tinggi.

4.3.5 Hubungan Resistivitas dengan Laju Korosi

4.3.5.1 Resistivitas terhadap Laju Korosi

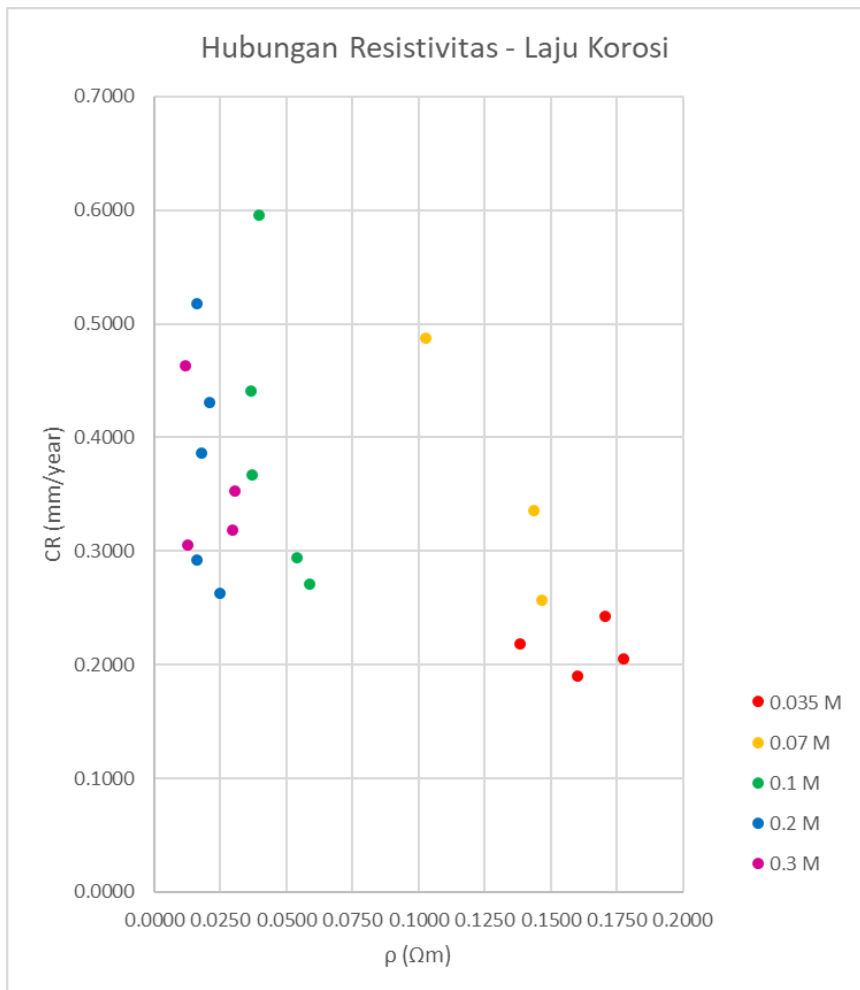
Setelah dilakukan perhitungan dan analisis data, kemudian nilai resistivitas yang telah diperoleh dibandingkan dengan nilai laju korosi. Perbandingan dilakukan dengan cara membuat grafik hubungan kedua parameter, kemudian dibuat garis yang merepresentasikan hubungan kedua parameter. Tabel 4.27 merupakan data perbandingan resistivitas terhadap laju korosi.

Tabel 4.17 Perbandingan data resistivitas terhadap laju korosi

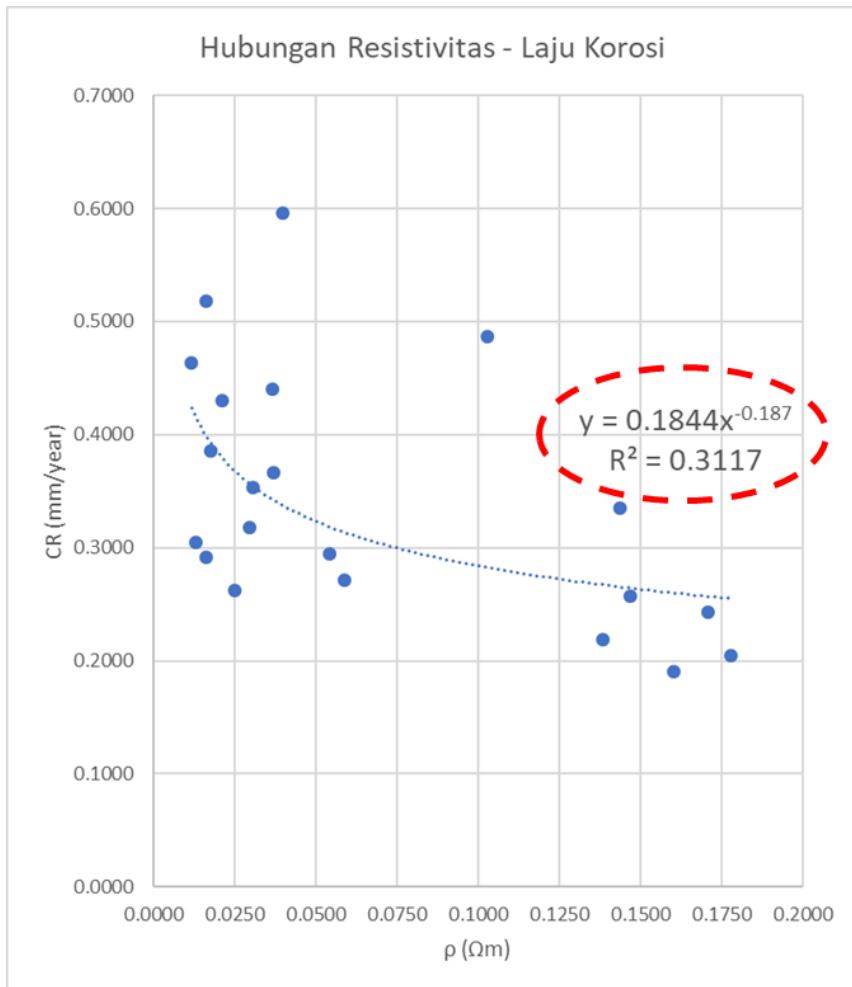
Konsentrasi	Minggu	ρ (Ω m)	CR (mm/tahun)
0,035 M	1	0,1602	0,1904
	2	0,1778	0,2048
	3	0,1705	0,2426
	4	0,1385	0,2185
	5	0,1643	0,0366
0,07 M	1	0,1028	0,4869
	2	0,1438	0,3354
	3	0,1468	0,2572
	4	0,1090	1,1419
	5	0,1044	0,9948
0,1 M	1	0,0398	0,5957
	2	0,0368	0,4404
	3	0,0372	0,3667
	4	0,0589	0,2709
	5	0,0543	0,2946
0,2 M	1	0,0161	0,5178
	2	0,0178	0,3860
	3	0,0250	0,2624
	4	0,0210	0,4305
	5	0,0161	0,2918
0,3 M	1	0,0119	0,4633

2	0,0119	0,8159
3	0,0307	0,3532
4	0,0129	0,3051
5	0,0296	0,3182

Adalah peran dari konsentrasi larutan NaCl yang mempengaruhi nilai resistivitas media rekondisi. Media rekondisi semakin konduktif seiring dengan peningkatan konsentrasi larutan NaCl.



Grafik 4.4 Hubungan resistivitas dengan laju korosi tiap konsentrasi. Sumbu c merupakan resistivitas dan sumbu y merupakan laju korosi.



Grafik 4.5 Hubungan resistivitas dengan laju korosi. Garis arah persebaran data nilai laju korosi terlihat menurun terhadap nilai resistivitas.

Persamaan garis yang diperoleh menunjukkan semakin tinggi nilai resistivitas maka semakin rendah nilai laju korosi yang terjadi. Persamaan garis yang merepresentasikan hubungan antara resistivitas dengan laju korosi adalah.

$$CR = 0,1844\rho^{-0,187} \tag{4.1}$$

Korelasi yang diperoleh antara garis persamaan dengan data pengukuran sangat kecil, yaitu 0,3117. Hal ini disebabkan karena terdapat kekosongan data pada rentang data resistivitas 0,075-0,125 Ωm seperti yang dapat dilihat pada grafik 4.4 dan grafik 4.5. Kekosongan data ini disebabkan karena pemilihan rentang konsentrasi larutan NaCl yang kurang variatif jumlahnya. Dapat dilihat pada grafik 4.1 bahwa terdapat kekosongan data di antara konsentrasi larutan NaCl 0,07 M dengan larutan NaCl 0,1 M. Hal ini menyebabkan persamaan garis kekurangan titik-titik referensi sehingga dihasilkan nilai korelasi yang rendah. Kemudian selain hal tersebut, nilai korelasi yang kecil juga disebabkan karena adanya *human error* ketika proses pengukuran laju korosi, di mana harapan yang diharapkan terjadi adalah korosi terjadi pada seluruh permukaan besi, namun pada kebanyakan spesimen yang terjadi hanya pada sebagian sisi saja dan hanya beberapa spesimen mengalami korosi pada seluruh permukaan besi. Hal ini tentunya berdampak pada korosi besi yang diperoleh, di mana korosi besi yang diperoleh pada beberapa media rekondisi nilainya menjadi lebih tinggi. Seperti pada pengukuran laju korosi minggu keempat dan minggu kelima yang nilai *weight loss* yang diperoleh mencapai 0,8978 gram dan 0,9710 gram dari yang seharusnya berada pada angka 0,11-0,16 gram.

Persamaan dapat digunakan untuk mengkonversi nilai resistivitas menjadi nilai laju korosi. Setelah nilai resistivitas dikonversi menjadi nilai laju korosi, selanjutnya saat diperoleh penampang korosivitas tanah, informasi korosivitas tanah dapat diperoleh terlebih dahulu sebelum proses penanaman logam ke dalam tanah. Sehingga anstisipasi korosi terhadap logam dapat ditentukan lebih awal.

4.3.5.2 Chargeability terhadap Laju Korosi

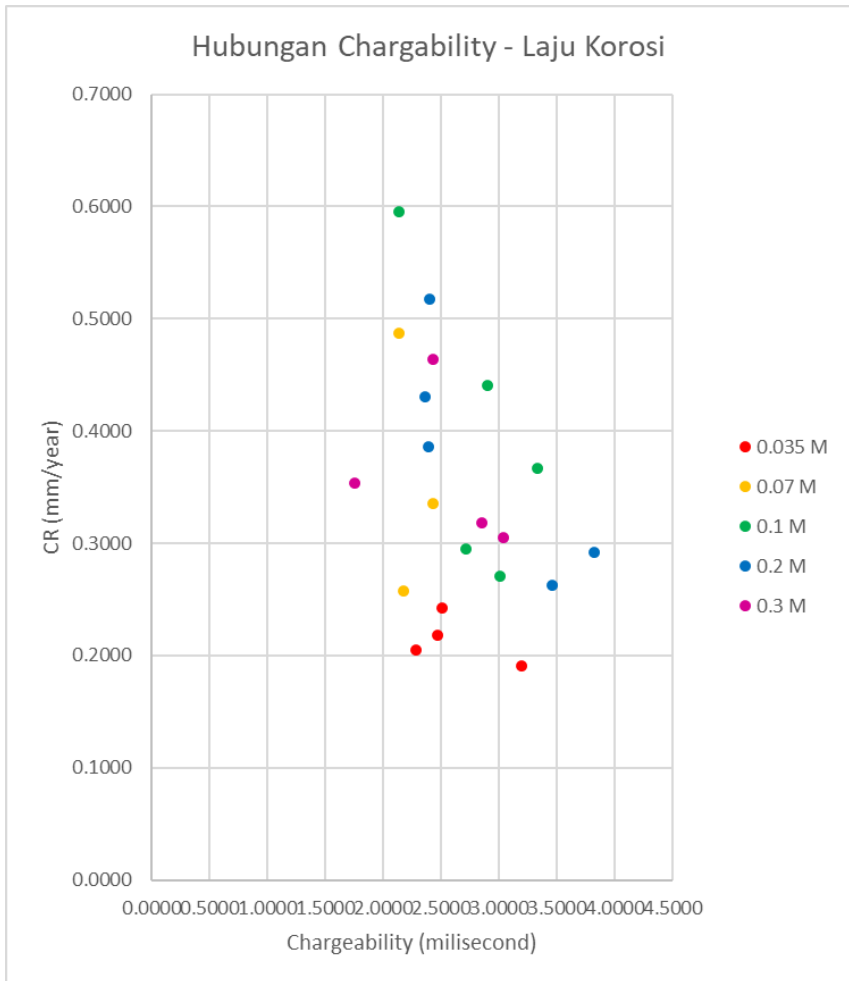
Setelah dilakukan perhitungan dan analisis data, kemudian nilai *chargeability* yang telah diperoleh dibandingkan dengan nilai laju korosi. Perbandingan dilakukan dengan cara membuat grafik hubungan kedua parameter, kemudian dibuat garis yang merepresentasikan hubungan kedua parameter. Berikut ini merupakan data perbandingan *chargeability* terhadap laju korosi.

Tabel 4.18 Perbandingan data *chargeability* terhadap laju korosi

Konsentrasi	Minggu	M (milisekon)	CR (mm/tahun)
0,035 M	1	3,1930	0,1904
	2	2,2840	0,2048
	3	2,5119	0,2426
	4	2,4685	0,2185

0,07 M	5	2,7034	0,0366
	1	2,1376	0,4869
	2	2,4337	0,3354
	3	2,1765	0,2572
	4	1,9221	1,1419
0,1 M	5	1,6611	0,9948
	1	2,1322	0,5957
	2	2,8961	0,4404
	3	3,3279	0,3667
	4	3,0112	0,2709
0,2 M	5	2,7180	0,2946
	1	2,4061	0,5178
	2	2,3881	0,3860
	3	3,4566	0,2624
	4	2,3602	0,4305
0,3 M	5	3,8173	0,2918
	1	2,4316	0,4633
	2	2,5143	0,8159
	3	1,7538	0,3532
	4	3,0400	0,3051
	5	2,8538	0,3182

Berbeda dengan resistivitas, nilai *chargeability* yang diperoleh cenderung tidak memperlihatkan pola yang teratur, variasi konsentrasi larutan NaCl tidak mempengaruhi nilai *chargeability*. Pola sebaran nilai *chargeability* dapat dilihat pada grafik 4.6. Pada grafik dapat diamati terdapat empat titik yang tidak dimasukkan, hal ini terjadi karena empat data tersebut memiliki nilai yang tidak valid. Tiga data yang memiliki nilai *chargeability* terlalu tinggi yaitu dua data yang berasal dari pengukuran media rekondisi dengan konsentrasi larutan NaCl 0,07 M dan satu data yang berasal dari pengukuran media rekondisi dengan konsentrasi larutan NaCl 0,3 M. Sedangkan satu data yang memiliki nilai *chargeability* terlalu rendah berasal dari pengukuran media rekondisi dengan konsentrasi larutan NaCl 0,035 M. Hal ini disebabkan human error ketika pengukuran dilakukan.



Grafik 4.6 Hubungan *chargeability* dengan laju korosi tiap konsentrasi. Sumbu x merupakan *chargeability* dan sumbu y merupakan laju korosi. Data hubungan laju korosi terhadap *chargeability* tidak menunjukkan keteraturan pada masing-masing konsentrasi larutan.

Nilai *chargeability* keseluruhan tidak membentuk pola. Meskipun begitu, rata-rata nilai *chargeability* memiliki rentang yang cenderung stabil. Yaitu 2,0167-2,7478 milisekon. Hal ini disebabkan karena media yang digunakan semuanya seragam, yaitu pasir. Nilai *chargeability* yang cenderung

stabil dapat dijadikan salah satu validasi pengukuran resistivitas media rekondisi.

4.4 Analisis Persamaan

Dari hubungan parameter resistivitas dengan laju korosi diperoleh persamaan 4.1. untuk mengetahui informasi apa saja yang terkandung dalam persamaan tersebut perlu dilakukan analisa lebih lanjut. Persamaan 4.1 adalah

$$CR = 0,1844\rho^{-0,187} \quad (4.1)$$

Di mana CR adalah laju korosi dalam milimeter per tahun dan ρ adalah resistivitas dalam Ωm .

Dimensi konstanta 0,1844 diperoleh setelah melakukan analisis penguraian parameter menjadi satuan berdasarkan SI, kemudian menelusuri dimensi satuan dasarnya seperti berikut ini.

$$\begin{aligned} CR &= 0,1844\rho^{-0,187} \\ \left(\frac{mm}{tahun}\right) &= X. (\Omega m) \\ \frac{m}{s} &= X. \left(volt. \frac{m}{A}\right) \\ \frac{m}{s} &= X. \left(\frac{kg.m^2.m}{A.s^3.A}\right) \\ \frac{m}{s} &= X. \left(\frac{kg.m^3}{A^2.s^3}\right) \\ X &= \left(\frac{kg.m^3}{A^2.s^3}\right) \cdot \frac{s}{m} \\ X &= \frac{kg.m^2}{A^2.s^2} \\ X &= [M][L]^2[I]^{-2}[T]^{-2} \end{aligned} \quad (4.2)$$

Dari persamaan 4.2 dapat diketahui dimensi dari konstanta 0,1844 dipengaruhi oleh laju perubahan massa dalam sebuah luas penampang logam terhadap aliran arus listrik ($kg.meter^2.ampere^{-2}.detik^{-2}$).

4.5 Perbandingan dengan Schwerdtfeger 1964

Perbandingan hasil penelitian sebelumnya dilakukan untuk mengetahui korelasi sekaligus memvalidasi kebenaran persamaan hasil penelitian. Data yang digunakan yaitu data hubungan resistivitas terhadap laju korosi yang dikemukakan oleh Schwerdtfeger pada tahun 1964.

Tabel 4.19 Hubungan resistivitas-korosivitas (Schwerdtfeger, 1964)

Resistivitas Tanah (Ωm)	Laju Korosi (mm/tahun)
	1

	in	erata	aks
0,5-5	,021	,289	,889
5-30	,015	,106	,320
30-540	,007	,055	,170

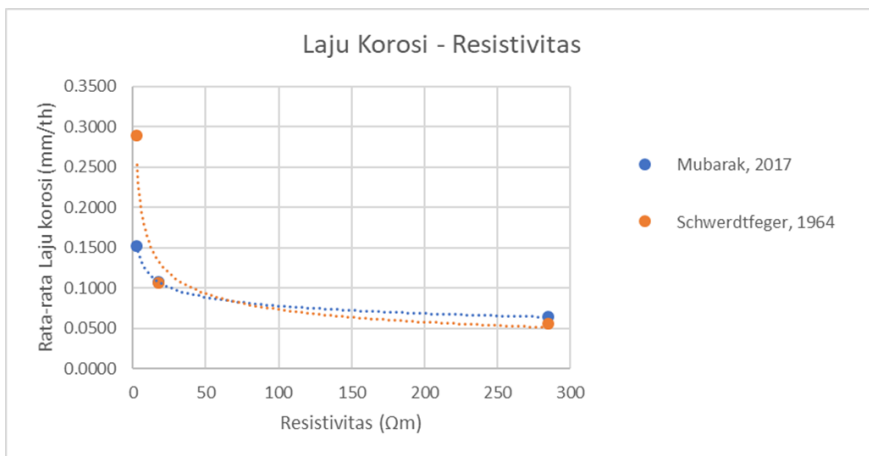
Data yang terdapat pada tabel 2.29 di atas merupakan data yang mewakili 86 sampel dengan lama pengukuran 2 tahun.

Sedangkan melalui persamaan yang diperoleh dari penelitian, dengan menggunakan rentang nilai resistivitas yang sama seperti milik Schwerdtfeger. Data yang mewakili 25 sampel dengan lama pengukuran 5 minggu diperoleh, hubungan resistivitas-korosivitas sebagai berikut ini.

Tabel 4.20 Hubungan resistivitas-korosivitas hasil penelitian

Resistivitas Tanah (Ωm)	Laju Korosi (mm/tahun)		
	1		
	in	erata	aks
0,5-5	,136	,152	,209
5-30	,097	,107	,131
30-540	,056	,064	,097

Kemudian antara hasil Schwerdtgeger pada tabel 2.29 dengan hasil penelitian seperti pada tabel 4.30 dibuat dalam satu grafik, sehingga dapat diketahui diamati dalam garis hubungan masing-masing data hasil pengukuran.

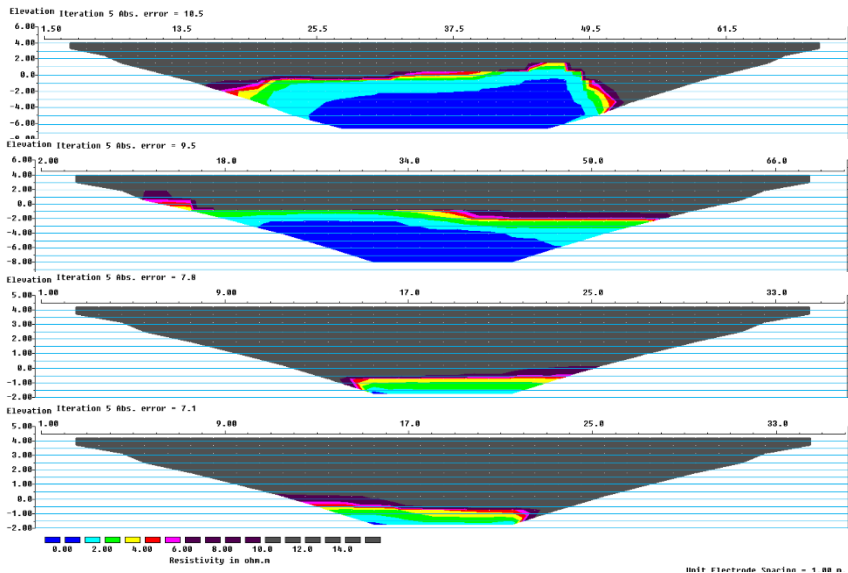


Grafik 4.7 Perbandingan hasil penelitian dengan Schwerdtfeger pada tahun 1964

Dari grafik 4.7 dapat diamati bahwa hasil penelitian ini dengan hasil penelitian Shwerdtfeger pada tahun 1964 memiliki hasil yang tidak jauh berbeda. Melalui grafik perbandingan hasil penelitian dengan Schwerdtfeger dapat divalidasi bahwa persamaan hasil penelitian adalah tepat.

4.6 Aplikasi Persamaan untuk Penentuan Zona Korosi

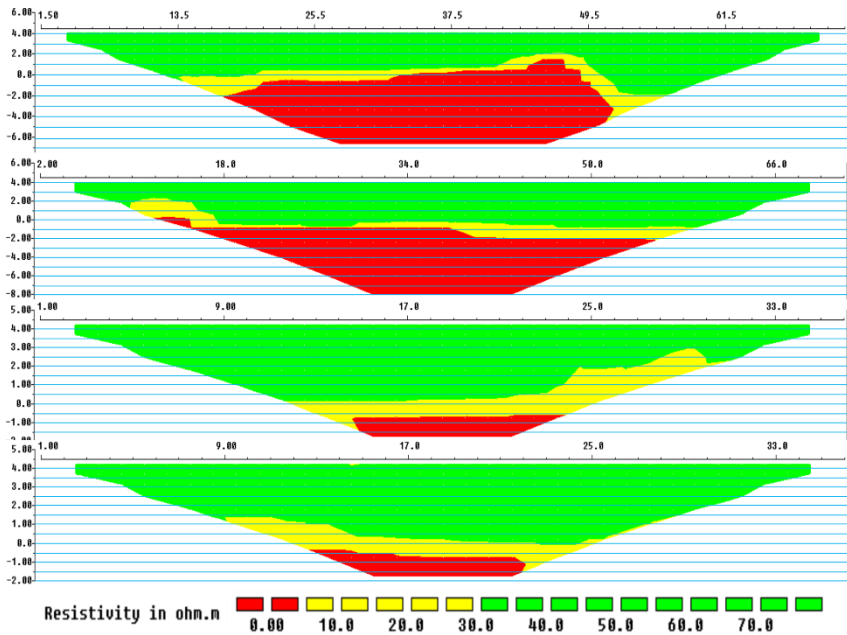
Untuk mengetahui aplikasi konversi nilai resistivitas menjadi nilai korosivitas dari persamaan hubungan resistivitas terhadap korosivitas seperti pada grafik 4.20, Penulis menggunakan data penampang resistivitas Taufiqurrohman, 2017. Seperti berikut ini.



Gambar 4.2 Penampang resistivitas tanah daerah terintrusi air laut (Taufiqurrohman, 2017)

Awalnya diperoleh penampang resistivitas tanah lingkungan daerah fluvial terintrusi air laut seperti gambar 4.2. Penampang resistivitas berurutan dari atas ke bawah merupakan lintasan 1, 2, 3, dan 4. Warna abu-abu merepresentasikan resistivitas tinggi dengan nilai resistivitas $>10 \Omega\text{m}$, kemudian warna ungu memiliki rentang nilai resistivitas $6-10 \Omega\text{m}$, warna merah muda memiliki rentang nilai resistivitas $5-6 \Omega\text{m}$, warna merah memiliki rentang nilai resistivitas $4-5 \Omega\text{m}$, warna kuning memiliki rentang nilai resistivitas $3-4 \Omega\text{m}$, warna hijau memiliki rentang nilai resistivitas $2-3 \Omega\text{m}$, warna biru muda memiliki rentang nilai resistivitas $1-2 \Omega\text{m}$, dan warna biru tua memiliki rentang nilai resistivitas $1-2 \Omega\text{m}$.

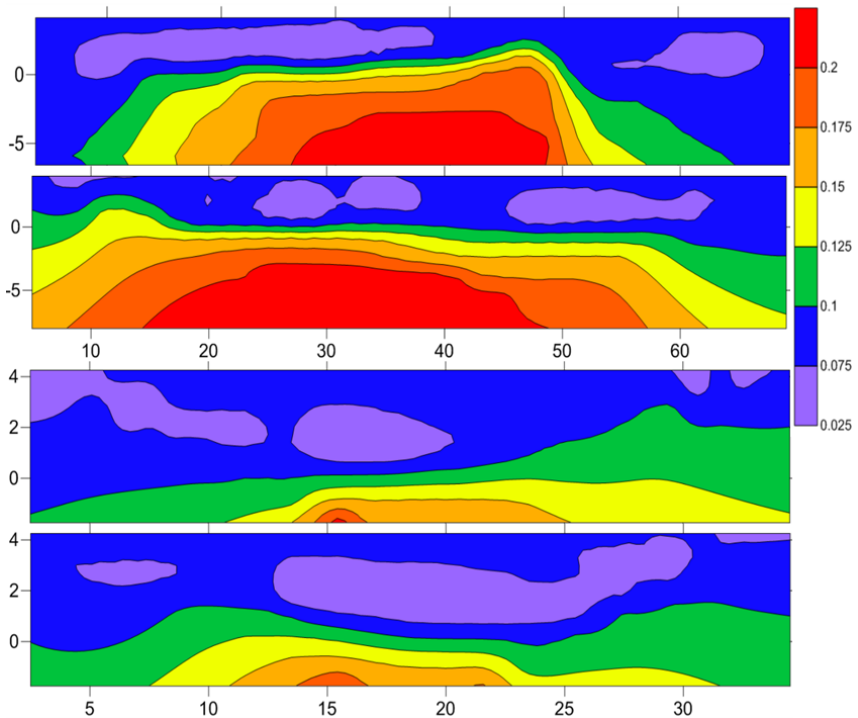
Penampang resistivitas awal seperti gambar 4.1 selanjutnya diolah dengan menggunakan batas skala Schwerdtfeger sehingga diperoleh penampang resistivitas baru seperti gambar 4.2. Pengolahan dilakukan menggunakan software RES2Dinv dengan masukan data resistivitas yang telah dikonversi menjadi data laju korosi. Kemudian skala warna dibuat berdasarkan Schwerdtfeger, 1964.



Gambar 4.3 Penampang resistivias setelah dirubah dengan menggunakan skala Schwerdtfeger (Taufiqurrohman, 2017)

Skala Schwerdtfeger hanya memberikan interpretasi kualitatif berdasarkan warna saja, Skala warna oranye merupakan batuan dengan nilai resistivitas di bawah 5 Ωm , zona yang memiliki lingkungan sangat korosif. Skala warna kuning merupakan batuan dengan nilai resistivitas 5-30 Ωm , zona yang memiliki tingkat korosif sedang. Dan skala warna hijau merupakan batuan dengan nilai resistivitas 30-70 Ωm , zona yang memiliki lingkungan korosif rendah.

Untuk mendapatkan interpretasi kuantitatif nilai laju korosi yang terjadi pada masing-masing zona digunakan persamaan 4.1. Data hasil inversi menggunakan software RES2DInv kemudian dikonversi menggunakan persamaan, lalu dicitrakan kembali dalam bentuk penampang, sehingga diperoleh penampang korosivitas seperti gambar 4.4 berikut ini.



Gambar 4.4 Penampang korosivitas lapangan PT. IPMOMI

Hasil konversi dapat menunjukkan nilai laju korosi yang terjadi pada tiap kelompok zona berdasarkan skala Schwertgeger sebelumnya. Zona korosif sangat tinggi memiliki nilai laju korosi sebesar 0,289 mm/tahun, laju korosi pada zona korosif sedang yaitu 0,107 mm/tahun, dan laju korosi pada zona korosif rendah yaitu 0,055 mm/tahun.

Dari hasil penampang korosivitas yang diperoleh seperti pada gambar 4.4, dapat diketahui bahwa persamaan 4.1 dapat diaplikasikan di lapangan. Persamaan 4.1 dapat digunakan untuk mengkonversi nilai resistivitas menjadi nilai laju korosi, sehingga dapat diperoleh interpretasi kuantitatif laju korosi yang berpotensi pada pipa yang ditanam di dalam tanah.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa variasi konsentrasi larutan NaCl tidak mempengaruhi nilai *chargeability*. Rentang nilai *chargeability* yang cenderung seragam menandakan bahwa media yang digunakan adalah homogen, yaitu pasir.

Perbandingan hasil penelitian dengan penelitian sebelumnya dan perbandingan hasil penampang resistivitas dengan penampang korosivitas hasil konversi menunjukkan kontur yang serupa dengan nilai yang berbeda tiap parameternya. Hubungan parameter resistivitas terhadap parameter laju korosi dapat dirumuskan dalam $CR = 0,1844\rho^{-0,187}$, di mana CR adalah *corrosion rate* dalam satuan mm/tahun, ρ adalah resistivitas dalam satuan Ωm , dan 0,1844 adalah konstanta yang menunjukkan laju perubahan massa dalam sebuah luas penampang logam terhadap aliran arus listrik ($kg.meter^2.ampere^{-2}.detik^{-2}$).

5.2 Saran

Penelitian ini tentunya belum sepenuhnya dapat menjadi acuan mutlak untuk menentukan korosivitas tanah. Oleh karena itu penelitian ini perlu ditindak lanjuti dengan beberapa saran berikut ini.

1. Dilakukan penelitian serupa dengan menggunakan metode pengkorosian logam yang lebih presisi lagi seperti *Salt Spray* dan lain sebagainya.
2. Dilakukan penelitian untuk mencari hubungan antara *native potensial* dan *shift potensial* terhadap resistivitas tanah sehingga dapat memberikan informasi yang lebih komprehensif bagi perlindungan logam dari korosi khususnya proteksi katodik.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Zaki. 2006. *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control*. Elsevier Science and Technology Books.
- Dalimunthe, Indra Surya. 2004. *Kimia dari Inhibitor Korosi*. Universitas Sumatera Utara.
- Galvanic Association, America. <URL: <https://www.galvanizeit.org/corrosion/effects-of-corrosion>>. 2017
- Goetz, P. W. 1986. *The New Encyclopedia Britannica*. Chicago. Encyclopedia Britannica Inc.
- Hooper, Kathe. 2005. *Standard Test Method for Measurement of Soil Resistivity Using the Two-Electrode Soil Box Method1*. West Conshohocken. ASTM International.
- Jones, Denny. 1992. *Principles and Prevention of Corrosion*. New York: Macmillan Publishing Company.
- Kjernsmo, Dag; Klaven, Kjeil; Scheie, Jan. 2000, *Corrossion Protection*. Universitetsforlaget. Oplag.
- Koesoemadinata. 1980, *Geologi Minyak dan Gas Bumi Jilid 1 Edisi Kedua*. Bandung. ITB
- K.R., Tretheway and J. Chamberlain. 1995. *Corrosion for Science and Engineering 2nd*. UK
- Loke, M. H. 1999. *Electrical Imaging Survey for Environmental and Engineering Studies*. Malaysia. Penang.
- Metal Samples Company. 2017. *Corrosion Coupons and Weight Loss Analysis*. Munford, Alabama.
- Schwerdtfeger, W.J. 1964. *Soil Resistivity as Related to Underground Corrossion and Cathodic Protection*. Journal of Research of the National Beureau os Standards – C. Engineering and Instrumentation Vol. 69C, No. 1, January-March 1965.
- Telford, W.M.; Geldart, L.P.; and Sheriff, R.E. 1990, *Applied Geophysics Second Edition*. Cambridge University Prees. New York.
- William, T. Lambe & Robert V. Whitman. 1969. *Soil Mechanics*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BIOGRAFI PENULIS



Penulis yang akrab dipanggil Hamzah ini lahir pada tanggal 15 April 1995 di Serang, Banten. Anak kedua dari tiga bersaudara ini menghabiskan masa pendidikan tingkat dasar hingga tingkat menengah atas di kota Bandung, Jawa Barat. Kemudian penulis melanjutkan studi pendidikan tinggi di Departemen Teknik Geofisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama menjalani studi tingkat tinggi, penulis tidak hanya aktif di bidang akademik, namun aktif juga di beberapa organisasi seperti di bidang minat bakat, penulis pernah menjadi pengurus di Unit Kegiatan Mahasiswa Sepak Bola ITS dan menjadi salah satu pemain dalam Unit Kegiatan Mahasiswa Flag Football ITS. Di bidang manajerial, penulis juga turut aktif menjadi Ketua Departemen Media Informasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS.

Penulis yang memiliki hobi di bidang fotografi memiliki beberapa prestasi di bidang minat bakat, di antaranya yaitu *2nd place* pada *SEG Student Photo Contest International 2015*, *1st place South East Asian Geosciences Student Conference 2016*, *1st place Mechanical Festival Photo Contest ITB*, *1st place Geophoto Contest HMGI 2014*, *2nd place Geohoto Contest HMGI 2015*, *2nd place Photography Contest in Spartan FTSP ITS 2016*.

Buku ini merupakan tugas akhir penulis sebagai syarat untuk memenuhi kelulusan S1. Apabila ingin mengetahui lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, dapat menghubungi penulis via email abdmhamzah@gmail.com.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

LAMPIRAN

I. Datasheet Pengukuran Resistivitas Pasir + Larutan NaCl 0,035M

Kondisi		Pasir + Larutan NaCl 0,035M		
No.	V (mV)	I (mA)	Δt (s)	V_o (mV)
1	15,5	0,49	3,51	14,1
2	17,2	0,49	4,05	9,7
3	16,5	0,49	3,91	10,6
4	13,4	0,49	2,22	14,9
5	42,5	1,31	4,91	23,4
6	39,8	1,52	4,3	22,8
7	41,3	1,54	4,3	19,3
8	43,2	1,53	6,3	20,7
9	40,8	1,51	4,3	25
10	41,9	1,53	4,24	22,7

II. Datasheet Pengukuran Resistivitas Pasir + Larutan NaCl 0,07M

Kondisi		Pasir + Larutan NaCl 0,07M		
No.	V (mV)	I (mA)	Δt (s)	V_o (mV)
1	20,1	0,99	2,17	19,8
2	28,1	0,99	2,46	27,8
3	28,7	0,99	3,59	17,4
4	21,3	0,99	3,56	11,5
5	20,4	0,99	3,29	10,3
6	22,1	0,99	2,57	15,9
7	24	0,99	3,53	14,2
8	21,1	0,99	3,71	11,3
9	27,8	0,99	3,14	16,4
10	31,1	0,99	3,64	17,6

III. Datasheet Pengukuran Resistivitas Pasir + Larutan NaCl 0,1M

Kondisi		Pasir + Larutan NaCl 0,1M		
No.	V (mV)	I (mA)	Δt (s)	V_o (mV)
1	4,9	1,54	2,62	4,5
2	5,4	1,54	2,48	5,2
3	7,6	1,54	3,55	7,4
4	6,4	1,54	2,85	5,3
5	4,9	1,54	4,35	4,3
6	3,3	1,54	3,26	3,1
7	7,5	1,49	2,1	7,5

8	4,9	1,49	4,07	2,3
9	8,1	1,49	2,4	7,3
10	5,5	1,49	3,2	3,2

IV. Datasheet Pengukuran Resistivitas Pasir + Larutan NaCl 0,2M

Kondisi		Pasir + Larutan NaCl 0,2M		
No.	V (mV)	I (mA)	Δt (s)	V_o (mV)
1	4,9	1,54	2,62	4,5
2	5,4	1,54	2,48	5,2
3	7,6	1,54	3,55	7,4
4	6,4	1,54	2,85	5,3
5	4,9	1,54	4,35	4,3
6	3,3	1,54	3,26	3,1
7	7,5	1,49	2,1	7,5
8	4,9	1,49	4,07	2,3
9	8,1	1,49	2,4	7,3
10	5,5	1,49	3,2	3,2

V. Datasheet Pengukuran Resistivitas Pasir + Larutan NaCl 0,3M

Kondisi		Pasir + Larutan NaCl 0,3M		
No.	V (mV)	I (mA)	Δt (s)	V_o (mV)
1	2,2	0,94	2,1	1,9
2	2,2	0,94	2,4	2,1
3	5,7	0,94	1,6	5,2
4	2,4	0,94	2,66	2,1
5	5,5	0,94	2,75	5,3
6	1,4	0,94	2,64	1,3
7	1,4	0,94	2,9	1,3
8	3,3	0,94	3,25	3,2
9	2,7	0,94	2,6	2,2
10	3,3	0,94	1,8	2,5

VI. Datasheet Pengukuran Laju Korosi pada Pasir + Larutan NaCl 0,035M

Kondisi		Pasir + Larutan NaCl 0,07M		
No.	W1	W2	t1 (tanggal/jam)	t2 (tanggal/jam)
1	21,5794	21,5381	30 April 2017 / 13:00	9 Mei 2017 / 13:00
2	19,6064	19,5231	30 April 2017 / 13:00	16 Mei 2017 / 13:00
3	20,6738	20,5291	30 April 2017 / 13:00	23 Mei 2017 / 13:00

4	20,2709	20,0991	30 April 2017 / 13:00	30 Mei 2017 / 13:00
5	19.6508	19.6151	30 April 2017 / 13:00	6 Juni 2017 / 13:00

VII Datasheet Pengukuran Laju Korosi pada Pasir + Larutan NaCl 0,07M

Kondisi		Pasir + Larutan NaCl 0,07M		
No.	W1	W2	t1 (tanggal/jam)	t2 (tanggal/jam)
1	21,6167	21,5111	30 April 2017 / 13:00	9 Mei 2017 / 13:00
2	21,7275	21,5911	30 April 2017 / 13:00	16 Mei 2017 / 13:00
3	20,7075	20,5541	30 April 2017 / 13:00	23 Mei 2017 / 13:00
4	22,6159	21,7181	30 April 2017 / 13:00	30 Mei 2017 / 13:00
5	20,2331	19,2621	30 April 2017 / 13:00	6 Juni 2017 / 13:00

VIII. Datasheet Pengukuran Laju Korosi pada Pasir + Larutan NaCl 0,1M

Kondisi		Pasir + Larutan NaCl 0,1M		
No.	W1	W2	t1 (tanggal/jam)	t2 (tanggal/jam)
1	20,9703	20,8411	30 April 2017 / 13:00	9 Mei 2017 / 13:00
2	23,6062	23,4271	30 April 2017 / 13:00	16 Mei 2017 / 13:00
3	21,7358	21,5171	30 April 2017 / 13:00	23 Mei 2017 / 13:00
4	23,1651	22,9521	30 April 2017 / 13:00	30 Mei 2017 / 13:00
5	22,0056	21,7181	30 April 2017 / 13:00	6 Juni 2017 / 13:00

IX. Datasheet Pengukuran Laju Korosi pada Pasir + Larutan NaCl 0,2M

Kondisi		Pasir + Larutan NaCl 0,2M		
No.	W1	W2	t1 (tanggal/jam)	t2 (tanggal/jam)
1	19,5104	19,3981	30 April 2017 / 13:00	9 Mei 2017 / 13:00
2	20,7861	20,6291	30 April 2017 / 13:00	16 Mei 2017 / 13:00
3	20,5586	20,4021	30 April 2017 /	23 Mei 2017 /

			13:00	13:00
4	21,4356	21,0971	30 April 2017 / 13:00	30 Mei 2017 / 13:00
5	19,5469	19,2621	30 April 2017 / 13:00	6 Juni 2017 / 13:00

X. Datasheet Pengukuran Laju Korosi pada Pasir + Larutan NaCl 0,3M

Kondisi		Pasir + Larutan NaCl 0,3M		
No.	W1	W2	t1 (tanggal/jam)	t2 (tanggal/jam)
1	19,3166	19,2161	30 April 2017 / 13:00	9 Mei 2017 / 13:00
2	22,6159	22,2841	30 April 2017 / 13:00	16 Mei 2017 / 13:00
3	19,1268	18,9161	30 April 2017 / 13:00	23 Mei 2017 / 13:00
4	20,594	20,3541	30 April 2017 / 13:00	30 Mei 2017 / 13:00
5	17,4737	17,1631	30 April 2017 / 13:00	6 Juni 2017 / 13:00

XI. Rincian Dana

Barang	Qty	Harga Satuan	Jumlah
Wadah uji (resis)	5	Rp 5000	Rp 25,000,00
Kabel tembaga	8 m	Rp 5000	Rp 40,000,00
Pasir	1/2 karung	Rp 65000	Rp 65,000,00
Baja AISI 1045	20 cm	Rp 35000	Rp 35,000,00
Serbuk NaCl	1 kg	Rp 285000	Rp 285,000,00
Lempeng Tembaga	10	Rp 5000	Rp 50,000,00
Catu daya	1	Rp 20000	Rp 20,000,00
AVO meter	1	Rp 50000	Rp 50,000,00
Aquades	5L	Rp 2000	Rp 10,000,00
Pipa PVC 1 Inch	1 bar pipa	Rp 39000	Rp 39,000,00
Tutup Pipa PVC	50	Rp 3000	Rp 150,000,00
Ember	1	Rp 20000	Rp 20,000,00
Magnet	1	Rp 80000	Rp 80,000,00
Gelas ukur 1 liter	1	Rp 12000	Rp 12,000,00
Gelas ukur 500 ml	1	Rp 10000	Rp 10,000,00
Gelas Ukur 50 ml	1	Rp 18000	Rp 18,000,00
Spatula kimia	1	Rp 14000	Rp 14,000,00
Watch glass	1	Rp 15000	Rp 15,000,00
Kertas Amplas Kasar	10 lbr	Rp 4000	Rp 40,000,00

XII Dokumentasi Kegiatan



Dokumentasi 1 Pengambilan pasir di pantai Siring Kemuning Bangkalan, Madura



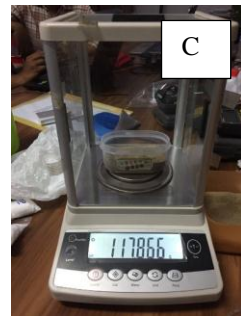
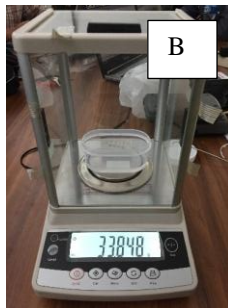
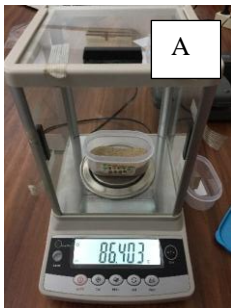
Dokumentasi 2 Mesh pasir A ukuran butir 0,1 mm dan B ukuran butir 0,3 mm



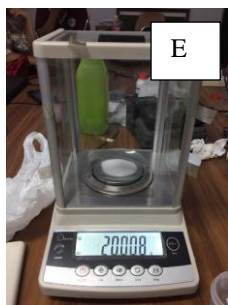
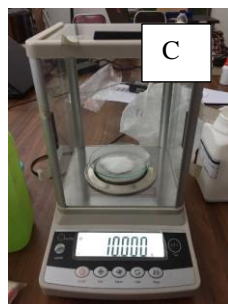
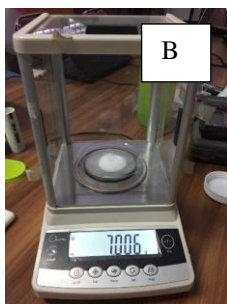
Dokumentasi 3 Pembuatan wadah pengukuran resistivitas dan laju korosi



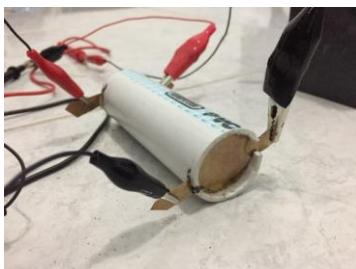
Dokumentasi 4 Pembuatan alat pengukuran resistivitas



Dokumentasi 5 Pengukurant berat dengan menggunakan timbangan digital, A berat pasir kering, B berat fluida 20 ml, C berat pasir yang telah ditambahkan fluida



Dokumentasi 6 Pengukuran berat NaCl, A konsentrasi 0,035 M, B konsentrasi 0,07 M, C konsentrasi 0,1 M, D konsentrasi 0,2 M, E konsentrasi 0,3 M



Dokumentasi 7 Pengukuran Resistivitas dengan alat yang telah dibuat



Dokumentasi 8 Melembabkan pasir dengan larutan NaCl



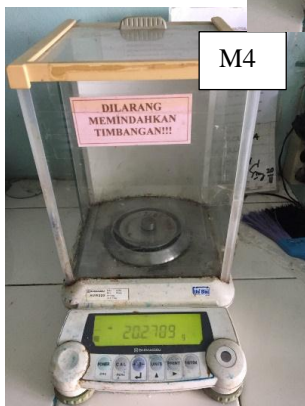
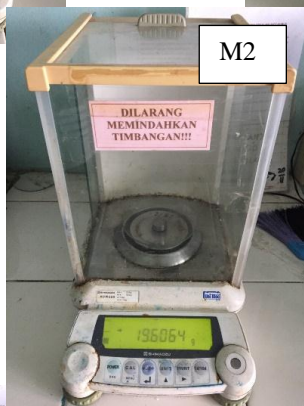
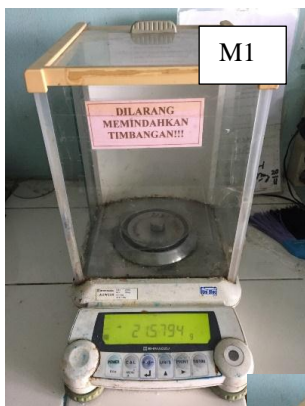
Dokumentasi 9 Memasukkan spesimen besi di dalam pasir



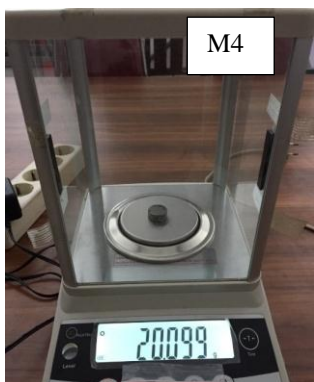
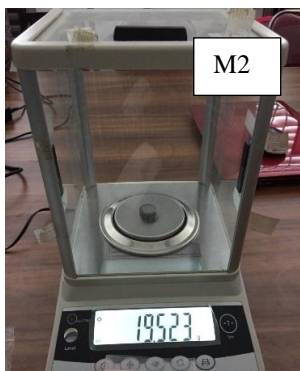
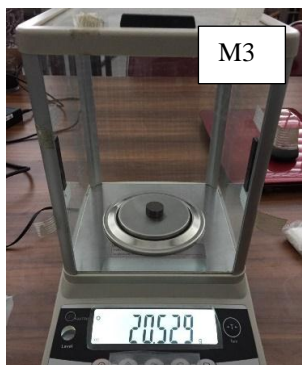
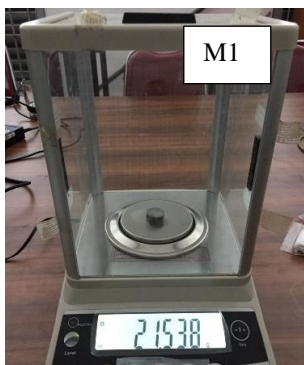
Dokumentasi 10 Isolasi spesimen besi dalam pipa + pasir dan pemberian kode tiap spesimen



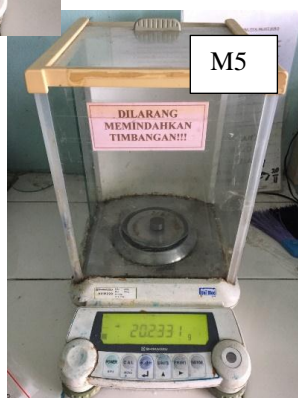
Dokumentasi 11 Pembersihan besi dari karat setelah dilakukan pengkaratan



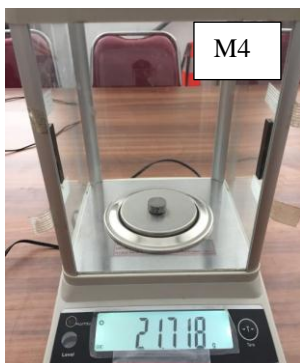
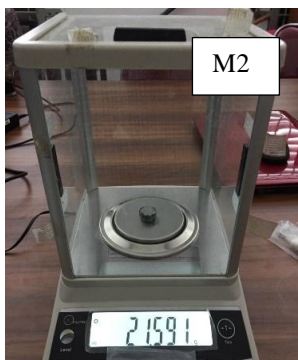
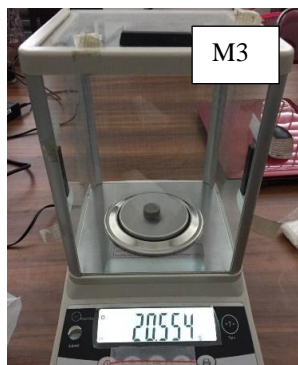
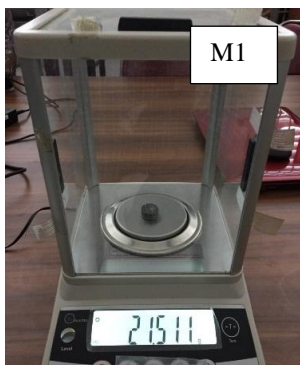
Dokumentasi 12 Berat besi sebelum dimasukkan ke dalam pasir + larutan NaCl konsentrasi 0,035 M



Dokumentasii 13 Berat besi setelah dimasukkan ke dalam pasir + larutan NaCl konsentrasi 0,035 M



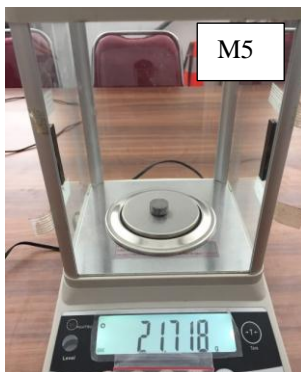
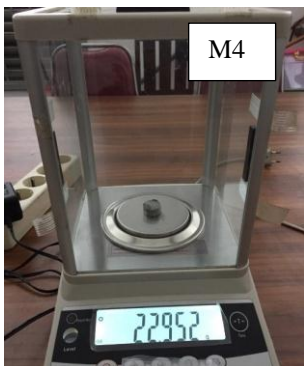
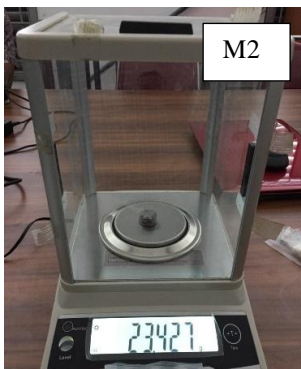
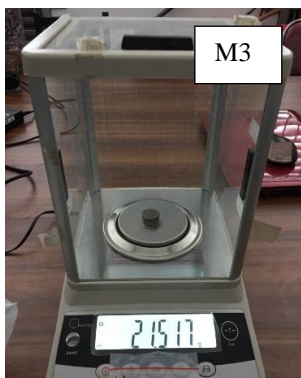
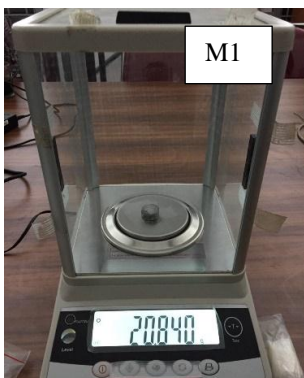
Dokumentasi 14 Berat besi sebelum dimasukkan ke dalam pasir + larutan NaCl konsentrasi 0,07 M



Dokumentasi 15 Berat besi setelah dimasukkan ke dalam pasir + larutan NaCl konsentrasi 0,07 M



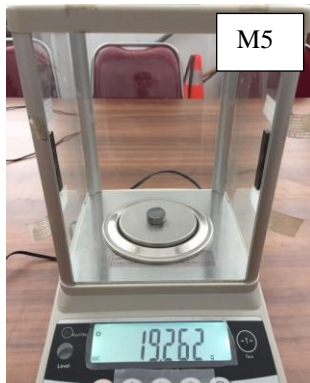
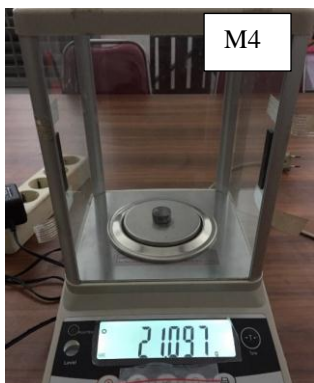
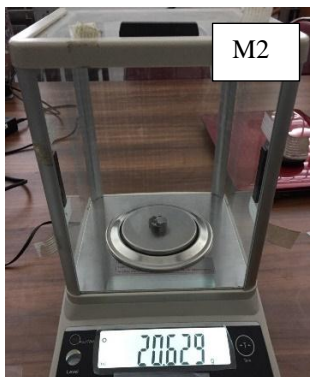
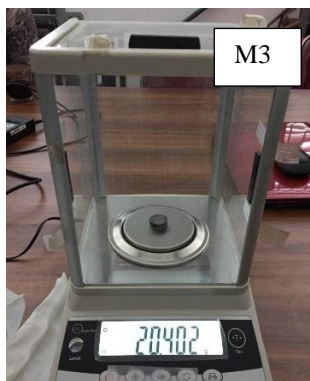
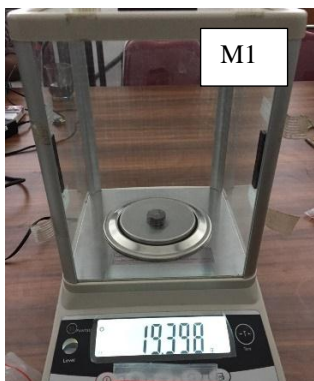
Dokumentasi 16 Berat besi sebelum dimasukkan ke dalam pasir + larutan NaCl konsentrasi 0,1 M



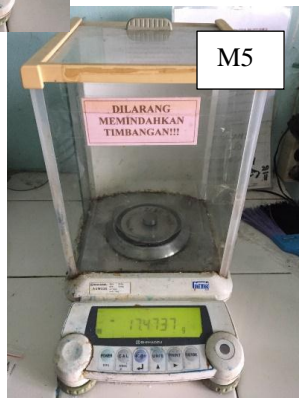
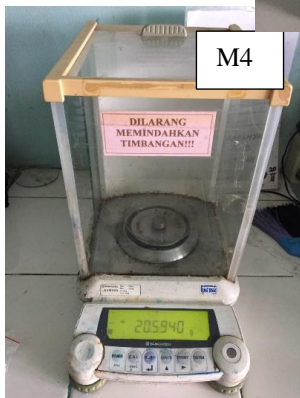
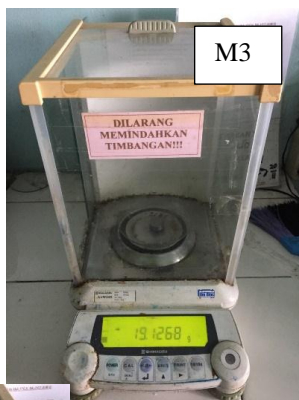
Dokumentasi 17 Berat besi setelah dimasukkan ke dalam pasir + larutan NaCl konsentrasi 0,1 M



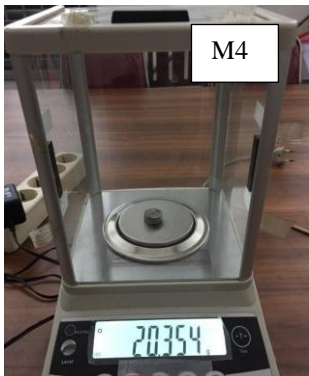
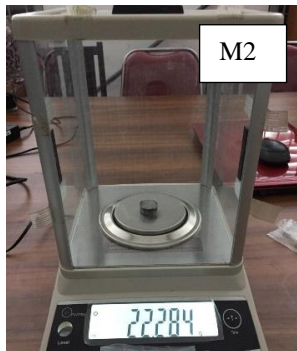
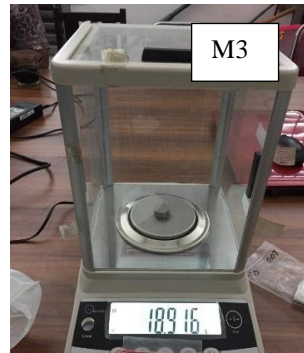
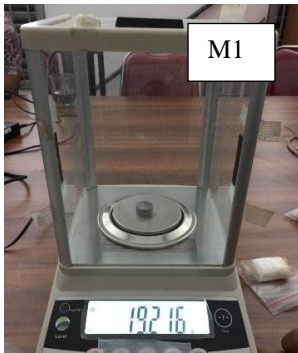
Dokumentasi 18 Berat besi sebelum dimasukkan ke dalam pasir + larutan NaCl konsentrasi 0,2 M



Dokumentasi 19 Berat besi setelah dimasukkan ke dalam pasir + larutan NaCl konsentrasi 0,2 M



Dokumentasi 20 Berat besi sebelum dimasukkan ke dalam pasir + larutan NaCl konsentrasi 0,3 M



Dokumentasi 21 Berat besi setelah dimasukkan ke dalam pasir + larutan NaCl konsentrasi 0,3 M